# ELEKTRIE 1|88

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399



0120243



Leiterplatten-
Vormaterial:
*Exponierte*
*Position*
*im Export*

*In einem Sonderheft „Electromagnetic Compatibility (EMC)" „Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)" der Wissenschaftlichen Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List", Dresden, erscheinen folgende Beiträge:*

*Neske, H.-K.; Hanisch, W.*
Einfluß von RF-Störungen im Mikrowellenbereich auf die Sprachübertragung über niederkanalige Richtfunkverbindungen

*Schemnoneck, H.; Treufeld, E.; Buch, P.*
EMV-Probleme beim Einsatz von Mikrorechnern in Kraftfahrzeugen

*Winkler, K. G.*
Eine Methode zur Ortung strahlender Quellen in analogen und digitalen Systemen

*Dunze, K.*
NEMP — Beeinflussung von Fernmeldeanlagen

*Artelius, B.*
Messung von Störungen, die von Drehstromlokomotiven auf Eisenbahnfernmeldeleitungen hervorgerufen werden

*Persson, P. O.*
Beeinflussungsfragen und elektromagnetische Verträglichkeitsprobleme in Schweden

*Ristau, D.*
Wellenmäßige Berechnung einfacher Schirmanordnungen zum Schutz technischer Anlagen gegen elektromagnetische Beeinflussung

*Feist, K.-H.*
Beitrag zur Erdung von Kabelschirmen

*Fischer, H.*
Komplexe Erdung und elektromagnetische Verträglichkeit

*Meinung, L.; Schüppler, H.*
Ein Beitrag zur Bewertung der EMV bei komplexen elektronischen/mikroelektronischen Systemen

*Habiger, E.; Winkler, G.*
Zur Koordinierung der elektromagnetischen Verträglichkeit bei Automatisierungsgeräten auf statistischer Basis

*Thieme, A.*
Probleme der Simulation von Beeinflussungsvorgängen für Prüfungen an nachrichtentechnischen Anlagen

*Beyer, D.; Eberhard, M.*
Rechnergestützte Ermittlung von Beeinflussungsintensitäten auf Übertragungswegen

*Liepe, J.; Sagaster, E.*
Das Simulationsmeßverfahren – eine neue Möglichkeit zur Vorausbestimmung von ständigen Beeinflussungsspannungen

*Augustin, E.*
Rezension und kurze Darstellung zum Beitrag von *Tasuko Takagi* „EMC Concept and Study Problems"

*Takagi, T.*
EMC Concept and Study Problems

S. Götze, Dresden

*In der Zeitschrift Nachrichtentechnik · Elektronik, Heft 2/1988, sind zum Thema Elektromagnetische Verträglichkeit folgende Beiträge vorgesehen:*

*Popp, E.*
Besonderheiten bei der Schirmung moderner digitaler Nachrichtensysteme

*Jehring, F.*
Störstrahlfestigkeit digitaler Fernsprechzentralen – ein EMV-Problem in der Vermittlungstechnik

*John, H.-J.*
Dauerlängsspannungen auf Fernmeldeleitungen und ihre Wirkung auf integrierte Teilnehmerschaltungen

*Spiess, W.*
Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit bei Einrichtungen der Deutschen Bundespost

*Kleber, W.; Frommhold, H. A.*
Beeinträchtigung der Zuverlässigkeit mikroelektronischer Geräte der Nachrichtentechnik durch parasitäre elektrostatische Ladungen

*Trommer, W.*
Stromversorgung, Schutz- und Erdungsmaßnahmen von Fernmeldeeinrichtungen mit mikroelektronischen Baustein- und Gerätesystemen

*Tschiedel, H.*
Erdung metallischer Kabelhüllen bei impulsförmiger, elektromagnetischer Beeinflussung

*Rous, Z.*
Einfluß der Erdung des Erdkabelmantels auf die Ader–Mantelspannung beim direkten Blitzschlag

*Thöry, N.*
Moderne Netzwerkanalyse als Hilfsmittel für die Gestaltung und den Test von Schutzmaßnahmen zur Sicherung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV)

*Balogh, V.*
Eine Berechnungsmethode zur Bestimmung des Empfindlichkeitsfaktors einer Fernsprechverbindung

*Dumke, H.; Götze, S.; Thieme, A.*
Der Einfluß praktischer Meßeinordnungen auf Unsymmetriemessungen an Fernsprecheinrichtungen nach der CCITT-Empfehlung G. 117

*Götze, S.; Röller, F.*
Eine elektronische Schaltungsanordnung zur Meßsignaleinspeisung bei Unsymmetriemessungen

*Hadrian, W.*
Direkte Beeinflussung von Bildschirmgeräten – ein Problem der EMV

Die Redaktion

*Neuerscheinung Auslieferung durch den Fachbuchhandel*

Eine Darstellung der Grundlagen und Maßnahmen zur Beherrschung des elektrisch verträglichen Zusammenwirkens von leistungselektrischen und informationselektronischen Betriebsmitteln in Elektroenergie- und Automatisierungsanlagen, erläutert anhand konkreter Beispiele (EDV-Anlagen, Umspannwerke, Schiffselektrik, Blitzschutz, Funkstörungen, Stromrichter-Netzrückwirkungen).
Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. habil. Ernst Habiger. Herausgegeben vom Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt- und Anlagenbau Berlin. 376 Seiten, 226 Bilder, 93 Tafeln, Kunstleder, DDR 39,– M, Ausland 52,– DM. Bestellangaben: 553 719 4/VEM-Handb. Verträglichkeit.

VEB VERLAG TECHNIK

1|88 ELEKTRIE

42. Jahrgang | Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik | ISSN 0013-5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Goldene Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Ober-Ing. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e. h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. Hannella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

**Titelbild**

Exponierte Position im Export: LEW-Leiterplattenvormaterial

Im Kombinat VEB Lokomotivbau-Elektrotechnische Werke „Hans Beimler" Hennigsdorf/DDR bewährt sich eine geschlossene Leistungskette für die Fertigung von Leiterplattenvormaterial: Hier werden die Automaten zur Erzeugung und Nachbehandlung von Kupferfolie gefertigt, hier steht eine umfassende Auswahl von Schichtpreßstoffen zur Verfügung, hier werden kupferkaschierte Schichtpreßstoffe und Vormaterial für Mehrlagenleiterplatten hergestellt. Anlagen für die Fertigung von Cu-Folie sowie das entsprechende Know-how wurden ebenso exportiert wie große Mengen von Schichtpreßstoffen und kupferkaschierten Schichtpreßstoffen.

| Hersteller | Exporteur |
|---|---|
| Kombinat VEB LEW Hennigsdorf DDR-1422 | Elektrotechnik Export-Import Alexanderplatz 6 Berlin DDR-1026 |

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

## Inhaltsverzeichnis

Seite

Aktuelle Information 2

Pundt, H.
100 Jahre Starkstrombeeinflussung 3

Pundt, H.
Dr.-Ing. habil. Herbert Lorke zum 60. Geburtstag 4

Fachaufsätze

Pundt, H.
Entwicklung der Drehstromübertragung unter besonderer Berücksichtigun der Probleme der Beeinflussung 5

Pilatowicz, A.
EMV-Probleme durch Energieversorgungsanlagen in der VR Polen 9

Schmidt, P.
Beeinflussung durch elektrische Bahnen 11

Koch, H.
Zur Stromabhängigkeit von Beeinflussungsmessungen 14

JAHRESINHALTSVERZEICHNIS 1987 (41. Jahrgang) 17

Weigt, W.
Geräuschstörungen in Fernsprechanlagen durch Straßenbahnen 25

Bauer, H.; Langer, G.
Elektromagnetische Verträglichkeit durch Fehlererkennungs- und Fehlertoleranzprinzipien 28

Kühne, St.; Kindler, H.
Betrachtungen zum Reduktionsfaktor bei mehreren Reduktionsleitern 32

Nickel, V.; Weißflog, A.
Energiesparende Tages- und Kunstlichtverwendung in Innenräumen in Abhängigkeit von Raumklima 34

# AKTUELLE INFORMATION

## Electromagnetic Compatibility (EMC) Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

*Kolloquium mit internationaler Beteiligung zu Ehren des 60. Geburtstages von Dr.-Ing. habil. Herbert Lorke*

Zeit: 23. bis 25. Februar 1988
Ort: Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" Dresden
Veranstalter: Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" Dresden, Sektion Technische Kybernetik und KDT-Hochschulorganisation

Inhaltliche Schwerpunkte[1])

— Grundsätzliche Probleme zur EMC/EMV
— Starkstrom- und Bahnstrombeeinflussung von Informationsanlagen
— Schirmung und Erdung von Informationsanlagen
— Empfindlichkeit von Informationsanlagen
— Erfahrungsaustausch der Betreiber von Hochspannungs-, Niederspannungs-, Bahnstromversorgungs- und Informationsanlagen

S. Götze, Dresden EA 2735

## Erdungsfragen in elektrotechnischen Anlagen

*X. Fach- und Diskussionstagung (Geraer Erdungstagung)*

Zeit: 3. und 4. März 1988
Wiederholungsveranstaltung der Geraer Erdungstagung vom 15. und 16. Dezember 1987
Ort: Gera
Veranstalter: Bezirksverband Gera; Betriebssektion des Institutes für Energieversorgung; FUA 1.15 „Erdung in elektrotechnischen Anlagen"

Inhaltliche Schwerpunkte

— Der Standardkomplex TGL 200-0603 in seiner neuen Gliederung, Übersicht, neue Begriffe
— Grundforderungen an die Gestaltung von Erdungsanlagen nach TGL 200-0603/02
— Zulässige Berührungsspannungen für Menschen und Nutztiere nach TGL 200-0603/02
— Thermische Bemessung von Erdungsanlagen nach TGL 200-0603/02 und 03
— Ströme und Ausschaltzeiten für die elektrische und thermische Bemessung von Erdungen
— Mantelstrom-Reduktionsfaktoren für Kabel ohne Erderwirkung
— Erdung von Wechselstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV nach TGL 200-0603/03
— Gemeinsame Erdungsanlage für Wechselstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV und mit Nennspannungen bis 1000 V nach TGL 200-0603/03
— Vermeidung gefährdender Potentialverschleppung aus Erdungsanlagen
— Anwendung der Programmpakete VARZEM und COMIN zur Berechnung komplizierter Erdungsanlagen und Ohmscher Beeinflussungen
— Stand der Berechnungsmöglichkeiten von Impulserdungsimpedanzen
— Prüfung von Erdungsanlagen nach TGL 200-0603/08

**Anfragen**

sind zu richten an
Bezirksverband Gera der KDT
Bereich Wissenschaft und Technik
Humboldt-Str. 13
Gera
6500
G. Strube, Gera EA 2737

[1]) Die wichtigsten Aufsätze zum o.g. Thema finden Sie in ELEKTRIE 1/88, Nachrichtentechnik · Elektronik 2/88 und in der Wissenschaftlichen Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" Dresden.

Die Redaktion

*Die Redaktion wünscht*
*für 1988*
*allen Lesern, Mitarbeitern,*
*Autoren, Beiratsmitgliedern*
*und Korrespondenten*
*alles Gute,*
*persönliches Wohlergehen,*
*Erfolg in der Arbeit*
*und weiterhin*
*eine gute*
*Zusammenarbeit.*

*

## Silicon-Anwender-Kolloquium 1988

*Anwendertagung mit Beteiligung aus den RGW-Ländern*

Zeit: 5. und 6. Juli 1988
Ort: Dresden
Veranstalter: VEB Chemiewerk Nünchritz; Kammer der Technik, Bezirksvorstand Dresden

Inhaltliche Schwerpunkte

— Entwicklungstendenzen der Siliconchemie
— Neue Produkte und Anwendungen
— Analytik
— Anwendungen in Mikroelektronik und Elektrotechnik
— Silicone für den Bautenschutz

**Anfragen**

VEB Chemiewerk Nünchritz
Herrn Dr. *Horn*
Meißner Str. 59
Nünchritz
8403
Horn, Nünchritz EA 2728

## Optimierung von Elektroenergieanlagen und automatisierten Prozessen

*Wissenschaftliche Tagung*

Zeit: 6. bis 9. September 1988
Ort: Ingenieurhochschule Wismar
Veranstalter: Wissenschaftsbereich Elektrotechnik der Sektion Technologie der Elektrotechnik/Elektronik

Inhaltliche Schwerpunkte

— Stochastische Bemessung von Elektroenergieanlagen nach technischen und ökonomischen Kriterien
— Modellierung und Simulation des Zufallsverhaltens charakteristischer Betriebsgrößen von Elektroenergieanlagen
— Betriebsverhalten und Zuverlässigkeit elektrischer Maschinen
— Optimierung automatisierungstechnischer Lösungen für technologische Prozesse

Es ist beabsichtigt, über neue Arbeitsrichtungen, Forschungsergebnisse und deren Anwendungen zu informieren und mit einem breiten Kreis von Fachkollegen aus der Industrie sowie aus wissenschaftlichen Institutionen und Hochschulen unter Einbeziehung ausländischer Partner zu diskutieren. Im Vordergrund stehen dabei rationelle Untersuchungsmethoden und Bemessungsverfahren für Elektroenergie- und Automatisierungsanlagen unter Berücksichtigung stochastischer Aspekte zur Verbesserung der Material- und Energieökonomie.

**Anfragen**

sind zu richten an
Ingenieurhochschule Wismar
Tagungsbüro
Philipp-Müller-Straße
Wismar
2400
D. Schmidt, Wismar EA 2722

## Elektronische Steuerungssysteme

*17. Fachtagung des Fachausschusses 14 „Steuerungs- und Regelungstechnik"*

Zeit: IV. Quartal 1990 (1 Tag)
Ort: Berlin
Veranstalter: FV Elektrotechnik; FA Steuerungs- und Regelungstechnik; VEB K Automatisierungsanlagenbau Berlin

Inhaltliche Schwerpunkte

— audatec — Anwendungsfälle
— SPS mit 16-bit-Mikroprozessoren
— Probleme der Anwenderschulung

**Anfragen**

und Teilnahmemeldungen sind schriftlich an den FV Elektrotechnik zu richten:
Kammer der Technik
Präsidium
FV Elektrotechnik
Postfach 1315
Berlin
1086
H. Hoppe, Berlin EA 2616

# 100 Jahre Starkstrom-beeinflussung

Von
Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt,
Wissenschaftsbereichsleiter an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden

Vor etwa 150 Jahren wurden die ersten Fernmeldeleitungen gebaut und vor etwa 100 Jahren die ersten Starkstromleitungen. In den ersten 50 Jahren der Entwicklung gab es also noch keine Beeinflussungsprobleme zwischen beiden. Außerdem waren die ersten Starkstromleitungen kurz und symmetrisch, denn es gab nur die sogenannten Blockkraftwerke für einzelne Häuserblocks. Elektrische Energie wurde damals auch fast nur für Beleuchtungszwecke benutzt, so daß die Starkstromleitungen am Tage, wenn der Fernsprecher meist benutzt wurde, nur schwach belastet waren. Mit dem Aufkommen der Straßenbahnen gab es dann jedoch längere Parallelführungen zwischen eindrähtigen Fernsprech- und unsymmetrischen Starkstromleitungen. So gründete der Elektrotechnische Verein in Berlin 1887 einen Ausschuß zum Studium der Beeinflussungsfragen, dem auch *Hermann von Helmholtz* und *Werner von Siemens* angehörten. In dem 1888 fertiggestellten Bericht wurde ausgeführt, daß zur Vermeidung von Störungen mindestens eine, möglichst beide Leitungen symmetrisch verlegt werden sollten und die Beeinflussung durch Induktion erfolgt. In den Jahren bis 1900 nahmen jedoch mit dem Ausbau der Straßenbahn- und Lichtnetze die Fernsprechstörungen zu, so daß die Fernsprechleitungen in den Städten zunehmend verkabelt wurden, zumal der Platz über den Häusern ohnehin nicht mehr ausreichte. Neue Dimensionen erreichte die Starkstrombeeinflussung erst mit dem Bau von Drehstrom-Fernübertragungen und dem raschen Anstieg der übertragenen Leistungen und verwendeten Übertragungsspannungen. So wurde bereits 1 Jahr nach der Inbetriebnahme der ersten Drehstromübertragung der Welt 1891 von Lauffen nach Frankfurt (Main) über Störungen von Morse- und Fernsprecheinfachleitungen durch eine Parallelführung von 6,1 km und von Fernsprechdoppelleitungen mit 12 km langer Näherung berichtet. Im Hinblick auf die Symmetrie und die Beeinflussungsprobleme war auch die Anordnung der 3 Leiter einer Drehstromfreileitung am Mastkopf im gleichseitigen Dreieck lange Zeit festgeschrieben. Die Verdrillung der Hochspannungsleitungen, die mit der Einführung der 110-kV-Spannungsebene grundsätzlich eingeführt wurde, führte in Verbindung mit dem Betrieb dieser Netze in Europa mit induktiver Sternpunkterdung, heute spricht man von Resonanz-Sternpunkterdung, dazu, daß die Beeinflussungsprobleme sowohl bei induktiver als auch kapazitiver Beeinflussung ohne große Probleme beherrscht wurden. Problematischer waren dagegen die Knallgeräusche, die durch atmosphärische Entladungen bei Gewitter oder auch bei Schaltvorgängen und Erdschlüssen verursacht werden, insbesondere für die Telefonistinnen in den Ämtern. Erst die Entwicklung der Halbleitertechnik führte zu zuverlässigen Schutzschaltungen in den Fernsprechern. Besonders störend für die Verständlichkeit der Sprache waren auch die Beeinflussungen durch Oberschwingungen in den Starkstromleitungen. Um sie einheitlich bewerten zu können, wurden von *Küpfmüller* 800 Hz als Bezugsfrequenz vorgeschlagen. Mit den elektrischen Fernbahnen, insbesondere die Wechselstrombahnen, waren von Anfang an ebenfalls entsprechende Beeinflussungsprobleme verbunden.

Nachdem bereits 1865 in Paris 20 europäische Nationen den Internationalen Telegraphenverein gegründet hatten, wurde 1924 in Paris das CCIF (Comité Consultatif International Telephonique) unter der Leitung von *Valensi* gegründet, um die Mitgliedsverwaltungen bei der Planung und Vereinheitlichung ihrer Fernsprechsysteme zu beraten. Als erste Studienkommission des CCIF wurde die Studienkommission für die Fragen des Schutzes der Fernmeldeleitungen gegen Starkstrombeeinflussungen gebildet. Da die Beeinflussungsprobleme bereits damals ohne die Mitarbeiter der Vertreter der Starkstromanlagen nicht gelöst werden konnten, überzeugte *Valensi* auf der CIGRE (Conférénce Internationale des Grands Reséaux Electriques) im Jahre 1924 in Paris mit praktischen Vorführungen die Starkstromtechniker, so daß sich sowohl die CIGRE als auch die UNIPEDE (Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique) als große Verbände der Starkstromseite und der internationale Verband der Eisenbahnverwaltungen UIC (Union Internationale des Chemins de Fer) an den Arbeiten dieser 1. Studienkommission beteiligten. So kam es bereits 1926 zur Herausgabe internationaler Richtlinien (Directives), bei denen der 1925 in Deutschland erschienene Entwurf der „Leitsätze für Maßnahmen an Fernmelde- und an Drehstromanlagen im Hinblick auf gegenseitige Näherungen" (VDE 0228) als Grundlage diente. Es ist auch festzuhalten, daß *Carson* und *Pollaczek* auf Veranlassung des CCIF die noch heute verwendeten Formeln zur Berechnung der Gegeninduktivität zwischen 2 gestreckten Leitern mit Erde als Rückleitung entwickelten. Da die in diese Beziehungen eingehende Bodenleitfähigkeit noch weitgehend unbekannt war, führte *Klewe* umfassende Messungen der Gegeninduktivität und der Bodenleitfähigkeit durch. Mit den tatsächlichen Werten der Bodenleitfähigkeit ergab sich eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung. Im Jahr 1956 wurde das CCIF mit dem CCIT (Comité Consultatif International Telegraphique) zum CCITT (Comité International Telegraphique et Telephonique) vereinigt. Durch laufende Ergänzungen und Änderungen wurden die Leitsätze des CCITT über den Schutz von Fernmeldeanlagen gegen Starkstrombeeinflussungen immer wieder dem neuesten Wissensstand angepaßt und 1987 als umfassende Monographie in 9 Bänden neu herausgegeben.

Neue Dimensionen nahm das Beeinflussungsproblem an, als Anfang der fünfziger Jahre in Europa sowohl die Umstellung der 220-kV-Netze von Resonanz-Sternpunkterdung auf starre Sternpunkterdung als zwingend notwendig erkannt und der Bau von 380-kV-Übertragungen mit starrer Sternpunkterdung vorbereitet wurde. So wurden von 1952 bis 1956 vom Institut für Energetik (IfE) und dem Institut für Post- und Fernmeldewesen (IPF) in Verbindung mit dem VEB Verbundnetz und der Deutschen Reichsbahn auch in der DDR erste Untersuchungen und Messungen durchgeführt, über deren Ergebnisse auf einer Arbeitstagung der KDT in Berlin am 28. Februar 1957 berichtet wurde. Dabei wurde der Beschluß gefaßt, einen Arbeitssauschuß zu bilden, dessen erste Aufgabe es war, „Vorläufige Richtlinien über Schutzmaßnahmen gegen Gefährdung von Fernmeldeanlagen durch 220-kV-Anlagen mit unmittelbarer Erdung des Sternpunktes" auszuarbeiten.

Bereits auf der 2. Arbeitstagung „Starkstrombeeinflussung von Fernmeldeanlagen" am 13. März 1958 konnten sowohl diese Richtlinien als auch entsprechende gegen Beeinflussung durch Drehstrom-Einleiterkabel vom Vorsitzenden dieses Arbeitsausschusses und gleichzeitig Leiter eines im IPF gegründeten Laboratoriums für Starkstromschutz, *H. Lorke*, vorgestellt werden. Die „Vorläufigen Richtlinien" ermöglichten die Projektierung und Ausführung entsprechender Schutzmaßnahmen gegen unzulässige Beeinflussung, so daß im Jahr 1960 die Umstellung des 220-kV-Netzes der DDR von der Resonanz-Sternpunkterdung auf starre Sternpunkterdung vorgenommen werden konnte, nachdem im Herbst 1958 im Rahmen großangelegter Kurzschlußversuche auf der 220-kV-Leitung Graustein — Berlin abermals auch Beeinflussungsmessungen bei Erdkurzschlüssen vorgenommen worden waren. Vor der Inbetriebnahme der ersten 380-kV-Verbindung von Ragow nach Lauchstedt 1962 wurden im Januar dieses Jahres abermals Erdkurzschlußversuche im 220-kV-Netz durchgeführt. Im Ergebnis aller Untersuchungen und nach Auswertung der ersten Betriebserfahrungen konnten auf der 1. Beeinflussungstagung mit internationaler Beteiligung im April 1963 in Leipzig „Leitsätze für Maßnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen" diskutiert werden. Im Rahmen des einheitlichen Standardwerkes der DDR begann danach der Fachausschuß (FA) „Starkstrombeeinflussung" mit der Ausarbeitung des Fachbereichstandards TGL 200-0605 „Kreuzungen und Näherungen zwischen Informations- und Starkstromanlagen", der auf der 2. Beeinflussungstagung im Oktober 1966 den 220 Teilnehmern aus 9 Ländern übergeben werden konnte. In

## Dr.-Ing. habil. Herbert Lorke zum 60. Geburtstag

Am 7. Februar 1988 vollendet Dr.-Ing. habil *Herbert Lorke* sein 60. Lebensjahr. Mit dem Namen *Lorke* sind die Probleme der Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen eng verbunden, so daß er nicht nur bei der Deutschen Post, bei der er unmittelbar nach dem Zusammenbruch des Hitlerregimes im Mai 1945 als Siebzehnjähriger im Telegraphenbauamt Halberstadt eine Lehre aufnahm, sondern auch bei der Deutschen Reichsbahn und den Energieversorgungsbetrieben seit über 30 Jahren wohl bekannt und geschätzt ist. Nach einer Tätigkeit im Fernmeldebauamt Halle kam er 1952 zum Post- und Fernmeldetechnischen Zentralamt Berlin, das 1955 in das Institut für Post- und Fernmeldewesen (IPF) umbenannt wurde. Sein Wissensdrang führte dazu, daß er sofort nach Eröffnung des Fernstudiums an der TH Dresden 1950, also im Matrikel 1, ein Fernstudium an der Fakultät Elektrotechnik, Fachrichtung Schwachstromtechnik aufnahm und 1959 erfolgreich abschloß. Bemerkenswert ist auch, daß er währenddessen 1953 als Externer an der Fachschule für Elektrotechnik Mittweida die Prüfungen zum Fernmeldeingenieur ablegte. Im IPF baute er auf Grund seiner wegweisenden praktischen und theoretischen Ergebnisse ein national und international anerkanntes Labor für Starkstrombeeinflussung auf. Sein Name ist mit den umfangreichen Vorarbeiten zur Umstellung des 220-kV-Netzes der DDR von Resonanz-Sternpunkterdung auf starre Sternpunkterdung und den hierzu geschaffenen Leitsätzen, Richtlinien und dem späteren Standard TGL 200-0605 eng verknüpft. Er übernahm auch seit Gründung am 28. Februar 1957 den Vorsitz des FA Starkstrombeeinflussung der KDT und leitet denselben noch heute mit der ihm eigenen großen Verantwortung und Sachkenntnis sowie einem guten Gespür für das technisch und ökonomisch Notwendige und Machbare an der Nahtstelle zwischen Stark- und Schwachstromtechnik. Es war für ihn selbstverständlich, daß er mit seinen wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiet der Beeinflussung 1962 promovierte und 1966 habilitierte, und zwar an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" in Dresden.

Seine Mitarbeit in internationalen Organisationen begann bereits 1963, als dem IPF innerhalb der Organisation der Zusammenarbeit der Nachrichtenverwaltung der sozialistischen Staaten (OSS) die Funktion eines Leitinstitutes für Starkstrombeeinflussung und Korrosionsschutz übertragen wurde. So entstanden unter seiner Leitung Empfehlungsserien und zwei OSS-Handbücher. Seit 1971 arbeitet Dr. *Lorke* im CCITT mit und hat seit 1976 das Amt des Vizepräsidenten der Studienkommission V „Schutz von Fernmeldeanlagen gegen elektromagnetische Felder" inne. In dieser Eigenschaft leitet er die Arbeitsgruppe für die Neubearbeitung der CCITT-Direktiven und ist Mitglied des Studienkomitees SC 36 der CIGRE. Dr. *Lorke* hat nicht nur einen entscheidenden Anteil an der Organisation der 5 Beeinflussungstagungen in der DDR, sondern trat auch auf einer Vielzahl Internationaler Fachtagungen, wie den EMC-Symposien und den CIGRE-Tagungen als international anerkannter Fachmann auf.

Im Auftrag der UIT (Internationaler Fernmeldeverein) in Genf wirkte er in den letzten Jahren mehrfach längere Zeit als Spezialist in verschiedenen Entwicklungsländern. Darüber hinaus vermittelte er auch seine umfangreichen Kenntnisse auf Weiterbildungslehrgängen in der DDR und als Lehrbeauftragter der HfV sowie Mentor für etwa 40 Diplomanden.

Mit 15 Patenten und etwa 90 Veröffentlichungen hat er ebenfalls entscheidenden Anteil an der Publizierung wissenschaftlicher Ergebnisse auf den Gebieten Starkstrombeeinflussung, Blitzschutz, HF-Beeinflussung sowie zur Gewährleistung des Personen- und Anlagenschutzes. Seine Verdienste wurden mit der Auszeichnung als „Verdienter Techniker des Volkes", der Verdienstmedaille der Deutschen Post in Silber, der Ehrennadel der KDT in Gold und dem Friedrich Engels Preis gewürdigt.

Wir gratulieren dem Hauptrat der Deutschen Post, Dr.-Ing. habil. *Herbert Lorke*, zum 60. Geburtstag ganz herzlich und wünschen ihm persönlich alles Gute, insbesondere weiterhin Gesundheit und Schaffenskraft bei der Bewältigung seiner vielfältigen Aufgaben in Forschung und Lehre sowie in internationalen Gremien.

H. Pundt, Dresden

EA 5876

## FUA 1.12 gratuliert Prof. em. Dr.-Ing. Walter Furkert zum 80. Geburtstag

Am 26. Januar 1988 vollendet Herr Prof. *Furkert* sein 80. Lebensjahr. Aus diesem Anlaß grüßen ihn die Mitglieder des Fachunterausschusses 1.12 der KDT „Starkstrom-Freileitungen" ganz herzlich.

Prof. *Furkert* hat über viele Jahre als Vorsitzender dieses KDT-Gremiums die Entwicklung der Freileitungstechnik wesentlich beeinflußt und das einschlägige Vorschriftenwerk in unserem Lande mitbestimmt. Er wurde auf Grund seiner Verdienste zum Ehrenvorsitzenden unseres Fachunterausschusses ernannt.

Wir wünschen dem Jubilar gute Gesundheit, damit er weiterhin seinen vielseitigen Interessen mit Freude nachgehen kann.

Dr.-Ing. F. Hirsch
Vorsitzender des FUA 1.12

EA 2734

---

(Fortsetzung von Seite 3)

den Folgejahren wurde dieser Standard weiter qualifiziert, indem alle nationalen und internationalen Forschungsergebnisse einflossen und mit den am meisten korrespondierenden Standards TGL 200-0603 „Erdung in elektrotechnischen Anlagen" und TGL 200-0604 „Berechnung von Kurzschlußgrößen" sowie TGL 200-0614 „Freileitungen" abgestimmt. Auch die Reihe der Beeinflussungstagungen wurde fortgesetzt, so daß die 3. in Dresden 1970, die 4. in Cottbus 1980 und die 5. in Berlin 1985 erfolgreich durchgeführt werden konnten.

Seit den siebziger Jahren wurden die Probleme der elektrischen Beeinflussung durch den umfassenden Einsatz mikroelektronischer Gerätesysteme mit sehr geringen Signalleistungen und Spannungen einerseits und der zunehmenden Dichte der Elektroenergieübertragungsanlagen mit hohen Fehlerströmen bis 50 kA und Nennspannungen bis 750 kV bzw. 1150 kV andererseits immer größer. Hinzu kam auch der zunehmende Einsatz der Leistungselektronik und die damit verbundene Oberschwingungsbelastung. Zunehmend wurden auch Rohrleitungen beeinflußt, und man untersuchte die biologischen Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf den Menschen im Nahbereich von Höchstspannungsleitungen. Schließlich zeigte es sich, daß auch von Kernexplosionen nukleare elektromagnetische Impulse (NEMP) ausgehen und insbesondere mikroelektronische Anlagen beeinflussen bzw. zerstören können. So ist die klassische Beeinflussungstechnik heute nur noch ein Teilgebiet innerhalb der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV), im internationalen Sprachgebrauch „electromagnetic compatibility (EMC)" genannt, die ein wichtiges Teilgebiet der Umweltproblematik geworden ist. Das wird auch durch die Tatsache unterstrichen, daß seit 1975 im zweijährigen Turnus abwechselnd in Wroclaw und Zürich internationale EMC-Symposien durchgeführt werden. Glücklicherweise wurde mit dem Einsatz von Lichtwellenleitern und Optokopplern eine vorzügliche Möglichkeit geschaffen, die Beeinflussungsprobleme optimal zu lösen.

Aus Anlaß des 60. Geburtstages von Dr. Lorke wird an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" in Dresden vom 23. bis 25. Februar dieses Jahres ein EMV-Kolloquium mit internationaler Beteiligung durchgeführt. Die in diesem Heft veröffentlichten 7 Beiträge sind dem Jubilar gewidmet und werden auf dem Kolloquium diskutiert.

Weitere Beiträge erscheinen im Heft 2/88 der Zeitschrift Nachrichtentechnik/Elektronik sowie in der Wissenschaftlichen Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" in Dresden.[1])

[1]) s. 2. US

EA 5875

# Entwicklung der Drehstromübertragung unter besonderer Berücksichtigung der Probleme der Beeinflussung

**H. Pundt, KDT; Dresden**

Nachdem im Heft 9/1987 der Fachzeitschrift ELEKTRIE die Entwicklung der Drehstromübertragung von den Anfängen bis zum heutigen Zeitpunkt mit einem Ausblick auf die zukünftige Entwicklung dargelegt wurde [1], sollen in diesem Beitrag aus gegebenem Anlaß die damit verknüpften Beeinflussungsprobleme betrachtet werden. Auf die ersten Untersuchungen und aufgetretenen Fälle der Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen wurde bereits im Leitartikel dieses Heftes hingewiesen, in dem auch die geschichtliche Entwicklung von nationalen und internationalen Gremien aufgezeigt wurde, die sich diesen Problemen gestellt haben.

## 1. Beeinflussungsgrundlagen

Im normalen symmetrischen Betrieb einer Drehstromleitung ist sowohl die kapazitive als auch induktive Beeinflussung auf parallel verlaufende Informationsleitungen gering, und unabhängig von der Art der Sternpunkterdung. Das gleich gilt auch für zwei- und dreipolige Kurzschlüsse ohne Erdberührung. Die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte zeigten, daß die kapazitive Beeinflussung im Normalbetrieb erst bei einem Näherungsabstand unter 100 m und Freileitungen ab Nennspannungen von 220 kV aufwärts von Interesse ist. Handelt es sich entweder bei der beeinflussenden oder beeinflußten Leitung um ein Kabel mit metallischer Hülle, so kann infolge der Abschirmung des elektrischen Feldes selbstverständlich keinerlei kapazitive Beeinflussung auftreten. Auch eine nennenswerte induktive Beeinflussung ist erst bei Kurzschlußströmen über 5 kA zu erwarten. Bei Erdfehlern treten Nullströme und Nullspannungen auf, die wesentlich von der Art der Sternpunkterdung abhängen [2]. So sind bei Erdschluß in Netzen mit freiem Sternpunkt und Resonanz-Sternpunkterdung die fließenden Nullströme gering; denn sie entsprechen den kleinen kapazitiven Erdschlußströmen bzw. den Kompensationsströmen der Erdschlußspulen oder den Restströmen. In diesen Netzen ist deshalb nur die kapazitive Beeinflussung bei Erdschluß zu beachten, jedoch auch nur bei Nennspannungen ab 110 kV aufwärts und Näherungsabständen unter 100 m. In Netzen mit starrer Sternpunkterdung dagegen bedeutet der einpolige Erdfehler einen Erdkurzschluß mit hohen Nullstromflüssen über Erde und einer großen Fernwirkung bis mindestens 2 km in Abhängigkeit von der Bodenleitfähigkeit und damit kurzzeitig eine hohe induktive Beeinflussung. Hinzu kommt eine kurzzeitige galvanische Beeinflussung von Kabeln durch die Anhebung des Potentials der Erdungsanlagen in Kraft- und Umspannwerken. Im Bild 1 ist auf der Basis von Blatt 01 (Beeinflussungsfälle) des Standards TGL 200-0605, Ausgabe 1985, eine Übersicht über zu untersuchende Beeinflussungsfälle von Informationsanlagen durch Drehstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV gegeben [3]. Sie soll im folgenden als Basis für die Einschätzung der Entwicklung der Beeinflussungsprobleme dienen.

## 2. Anfänge der Drehstromübertragung

Obwohl es bereits bei der ersten Drehstrom-Fernübertragung von Lauffen nach Frankfurt (Main) nachgewiesenermaßen eine Beeinflussung von Fernsprechleitungen gab, verursachten die Straßenbahnen um 1900 mehr Fernsprechstörungen auf Grund der Benutzung der Erde als Rückleiter für den Fahrdraht [4]. Viel mehr Bedenken hatten dagegen Post- und Bahnverwaltungen bei Kreuzungen ihrer Anlagen durch Hochspannungsleitungen. So wurden selbst bei allen Mittelspannungs-Freileitungen in den Spannungsebenen 6 bis 30 kV in Deutschland bis etwa 1908 bei Kreuzungen wichtiger Verkehrsstraßen mit Fernsprechleitungen und Eisenbahnen Schutznetze unterhalb der Starkstrom-Freileitung gefordert. Da sie aus dünnen verzinkten Stahldrähten gefertigt wurden, hatten sie eine viel geringere Lebensdauer als die Kupferleiter. Es brachen auch einige Kreuzungen mit diesen engmaschigen Schutznetzen durch hohe Rauhreif und Schneelasten zusammen. Diese Probleme führten dazu, von äußeren Schutzvorrichtungen ganz Abstand zu nehmen und dafür die Sicherheit der Hochspannungsleitung selbst so zu erhöhen, daß eine Gefährdung von Personen und Sachen ausgeschlossen werden konnte. In den Sicherheitsvorschriften des VDE von 1907 wurde dieser Anschauung bereits Rechnung getragen. So schrieben die „Normalien für Freileitungen" vor, daß bei solchen Kreuzungen die Seilzugspannung nur 50 % der üblichen betragen darf und auch bei Zerstörung eines Isolators der zugehörige Leiter entweder nicht herabfallen darf oder vorher geerdet werden muß. Eine 1909 von *Klingenberg* realisierte „Sicherheitsaufhängung" aus 3 parallelen Stützenisolatoren wurde von der Post mit der zusätzlichen Forderung, unterhalb der Starkstromleitung einen geerdeten Stahldraht als sog. „Prelldraht" zu ziehen, um bei Bruch und Emporschnellen eines Schwachstromdrahtes dessen Berührung mit den Starkstromleitern zu verhindern, akzeptiert [5]. Auch der Ulbrichtsche Netzleiter — eine Verflechtung zweier paralleler Leiter — verhinderte, daß bei Isolatorbruch oder Seilriß ein Leiter herabfallen konnte. Eine störende oder gefährdende induktive Be-

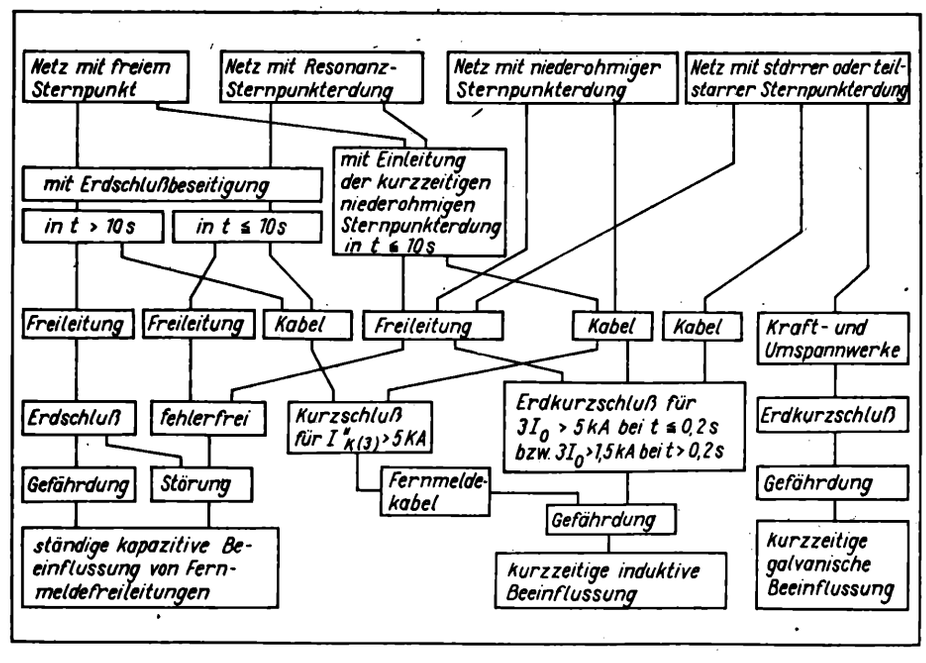



**Bild 1.** Übersicht über zu untersuchende Beeinflussungsfälle von Informationsanlagen durch Drehstromanlagen mit $U_n > 1$ kV gemäß TGL 200-0605/01

Prof. Dr.-Ing. habil. *Hans Pundt* ist Wissenschaftsbereichsleiter an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden und stellv. Vorsitzender des FA „Starkstrombeeinflussung" der KDT.

einflussung wurde bei den Mittelspannungsleitungen von vornherein ausgeschlossen, weil sie grundsätzlich mit freiem Sternpunkt betrieben wurden.
Die auch im Bild 1 für Netze mit freiem Sternpunkt bei Erdschluß ausgewiesene ständige kapazitive Beeinflussung von Fernmeldefreileitungen beschäftigte damals trotzdem die Fachwelt, sowohl in Deutschland als auch in den USA, weil oft längere Parallelführungen an den Landstraßen entstanden. Dagegen traten die durch Schaltvorgänge und bei Gewitter verursachten „Knallgeräusche zeitweilig so häufig auf, daß die Telephonistinnen im Amt streikten, denn sie hatten immer einen Kopfhörer am Ohr und waren dadurch den Knallgeräuschen in höherem Maße ausgesetzt als die Teilnehmer", berichtet *Klewe* [4].

### 3. Spannungsebene 110 kV

Während die Deutsche Post bei Mittelspannungsleitungen ab 1909 zu Kreuzungen mit einer „Sicherheitsaufhängung" und einem „Prelldraht" ihr Einverständnis gab, verlangten Post und Bahn bei der ersten 110-kV-Freileitung Europas von Lauchhammer nach Riesa feste eiserne Schutzbrücken, so daß auf der 56 km langen Trasse insgesamt 24 derartige aufwendige Konstruktionen errichtet wurden [1]. Da die Leitung außerdem alle 1,5 km verdrillt wurde (Verdillung $\beta$), war selbst bei längeren Parallelführungen weder eine größere induktive noch eine kapazitive Beeinflussung zu erwarten. Außerdem wurde die Leitung mit freiem Sternpunkt betrieben, so daß auch bei Erdschluß keine induktive Beeinflussung durch Nullströme auftrat. Auch in den USA wurden die ersten 110-kV-Netze zunächst mit freiem Sternpunkt betrieben, jedoch bald entweder starr oder über Resistanzen geerdet [6]. So wurde 1911 über die 110-kV-Übertragung in Ontario/Kanada berichtet, daß später ein Wasserwiderstand aus 12 in Reihe geschalteten Porzellantöpfen an den Sternpunkt angeschlossen wurde [7]. Nach den heutigen Festlegungen würde diese Art der Sternpunkterdung als niederohmige Sternpunkterdung über Resistanzen bezeichnet werden. Beim weiteren Ausbau der 110-kV-Netze in Deutschland verzichteten später Post und Bahn auf die aufwendigen Schutzbrücken und begnügten sich mit einer „erhöhten Sicherheit" der Kreuzung. Die aufwendige $\beta$-Verdrillung wurde jedoch zumindest in Sachsen beibehalten. Fast überall wurde das Tannenbaum-Mastbild bevorzugt. Bis weit in die zwanziger Jahre wurden die 110-kV-Netze mit freiem Sternpunkt betrieben. Auf einer VDE-Tagung 1925 wurden erstmalig die Probleme der Sternpunkterdung im Zusammenhang mit dem Baubeginn der ersten 220-kV-Verbindung im RWE umfassend diskutiert. Bemerkenswert sind dabei die Vorträge von *Rüdenberg* und *Rachel*, die beide die Probleme bei freiem Sternpunkt mit denen bei starrer Sternpunkterdung verglichen. Während *Rüdenberg* ausführlich auf die Beeinflussungen von Schwachstromleitungen und die Wirkungen der Rückströme über Erde einging [8], stellte *Rachel* stärker die Notwendigkeit von 220-kV-Übertragungen heraus und schilderte ausführlich die Praxis in den USA, die er im Frühjahr 1925 studieren konnte [9]. Offenbar noch unter diesem Eindruck kam er zu der Schlußfolgerung, daß bei der Weiterentwicklung der Netze in Deutschland trotz aller auch von ihm aufgezeigten Beeinflussungsprobleme sowohl für 220 kV als auch 110 kV aus wirtschaftlichen und technischen Gründen die starre Sternpunkterdung eingeführt werden muß und man sich auf diesen Gedanken und den damit zusammenhängenden Konsequenzen einstellen sollte. *Rachel* schrieb wörtlich: *„Die Erde wird jetzt nur allzusehr als das unbeschränkte Gebiet des Schwachstroms betrachtet, und manche Kreise haben sich schon völlig in den Gedanken eingelebt, daß es ein Staatsverbrechen größter Art ist, wenn sich ein hochgespannter Wechselstrom mal in die Erde verirrt. Die Zeit ist heran, daß die deutsche Hochspannungselektrotechnik an diesem seltsamen Privilegium rüttelt und in nicht mißzuverstehender Weise ihr Recht auf die Erde erklärt"*. Die 1916 von *Petersen* erfundene und im Januar 1917 patentierte „Einrichtung zur Unterdrückung des Erdschlußstromes von Hochspannungsnetzen" [10] und seine Veröffentlichungen mit guten Betriebserfahrungen mit den ersten Erdschlußspulen, bald auch nach ihrem Erfinder Petersenspule genannt [11], überzeugten die Fachwelt offensichtlich so, daß sie den *„Kampf um das Recht auf die Erde"* vertagten. So wurden in allen 110-kV-Netzen in Deutschland gegen Ende der zwanziger Jahre Erdschlußspulen installiert und damit auf die induktive Sternpunkterdung, heute als Resonanz-Sternpunkterdung bezeichnet, übergegangen. Durch die Kompensation des kapazitiven Erdschlußstromes durch den induktiven Spulenstrom gab es selbst in ausgedehnten Netzen keine nennenswerten Nullstromflüsse über Erde und weder eine unzulässige induktive noch galvanische Beeinflussung, denn auch über die Erdungsanlagen der Umspannwerke floß maximal nur der Spulenstrom von 50 bis 100 A. Für die kapazitive Beeinflussung änderte sich durch die Umstellung auf die Resonanz-Sternpunkterdung nichts, wenn man von der möglichen ständigen kapazitiven Beeinflussung durch die Verlagerungsspannung im Normalbetrieb absieht. Die induktive Beeinflussung bei Doppelschluß spielte noch in den früheren „Richtlinien" und „Leitsätzen" sowie bei der Erstausgabe des Standards TGL 200-0605 in der DDR eine große Rolle.
So brauchte der Fall des Doppelerdschlusses nur dann nicht berücksichtigt zu werden, wenn die beeinflussende Leitung einem „Netz hoher Betriebssicherheit" zugeordnet werden konnte. Ein „Netz hoher Betriebssicherheit" mußte mit Resonanz-Sternpunkterdung und maximal 10 % Überkompensation betrieben werden, den zulässigen Reststrom einhalten, Dauererdschlüsse innerhalb von 30 min beseitigen und eine Überwachung der Isolation in Verschmutzungsgebieten aufweisen. Wie aus Bild 1 hervorgeht, gibt es diese Festlegungen nicht mehr, sondern es sind die Netze mit freiem Sternpunkt und Resonanz-Sternpunkterdung gleichberechtigt, und es wird nur noch von der Erdschlußdauer abhängig gemacht, ob ein Erdschluß berücksichtigt werden muß oder nicht. Der Doppelerdschluß wird grundsätzlich nicht mehr als Beeinflussungsfall betrachtet. Hier wird bewußt ein gewisses Risiko eingegangen, denn die Nullströme bei Doppelerdschlüssen können je nach Fehlerlage auch relativ groß werden. Dafür ist jetzt die kurzzeitige niederohmige Sternpunkterdung (KNOSPE) mit berücksichtigt, wobei auch hier eine Nullstrombeeinflussung nicht betrachtet zu werden braucht, wenn der dreifache Nullstrom unter 1,5 kA bzw. 5 kA je nach Fehlerdauer bleibt.
In den Jahren 1965/66 kam die Diskussion zur Sternpunkterdung in den 110-kV-Netzen der DDR noch einmal auf. Aus eingehenden Untersuchungen und Studium der internationalen Praxis wurde jedoch entschieden, die 110-kV-Freileitungsnetze weiterhin mit Resonanz-Sternpunkterdung zu betreiben und nicht auf starre Sternpunkterdung umzustellen [12] [13]. Lediglich die entstehenden 110-kV-Stadtkabelnetze werden, der internationalen Praxis folgend, auf niederohmige Sternpunkterdung umgestellt und getrennt vom Freileitungsnetz betrieben, wobei ein Erdkurzschlußstrom von 5 kA eingehalten wird [14] [15]. Die Bayernwerke AG stellte allerdings ihr 110-kV-Netz auf starre Sternpunkterdung um, worüber bereits auf der SfH-Tagung am 12. und 13. Juni 1957 in Hamburg berichtet wurde [16] [17].

### 4. 220/380-kV-Netz

Obwohl auf der bereits erwähnten VDE-Tagung 1925 eindeutig für die starre Sternpunkterdung bei 220 kV plädiert wurde, waren die guten Betriebserfahrungen mit der Resonanz-Sternpunkterdung in Deutschland ausschlaggebend dafür, daß auch für das 220-kV-Netz Erdschlußspulen gefertigt und eingesetzt wurden. Damit wurde die Auseinandersetzung mit der Deutschen Post wieder vertagt und die Gefährdung von Personen durch Schritt- und Berührungsspannungen vermieden. Der rasche Ausbau der 220-kV-Netze nach dem 2. Weltkrieg hatte dann jedoch ein so schnelles Anwachsen des Wirkreststromes, insbesondere des Koronareststromes zur Folge, daß die Erdschlußlichtbögen vor allem bei Regenwetter nicht mehr löschten. So stieg z. B. die Anzahl der nichtgelöschten Erdschlüsse im 220-kV-Netz der RWE von 26 % im Jahre 1950 auf 50 % im Jahre 1951 [18]. Nach entsprechender Vorbereitung wurde deshalb 1952 mit der Umstellung des 220-kV-Netzes der BRD auf starre Sternpunkterdung begonnen, nachdem bereits 1950 das schwedische 220-kV-Netz umgestellt worden war. 1957 folgte Österreich und 1960, wie im Leitartikel dieses Heftes bereits erwähnt, die DDR, ebenfalls nach gründlicher Vorbereitung [19] [20] [21]. Damit kam auch für die in den fünfziger Jahren entstehenden 380-kV-Übertragungen nur die starre Sternpunkterdung in Frage, während man 1948 teilweise noch der Meinung war, auch diese Netze mit Resonanz-Sternpunkterdung betreiben zu können [22] [23].
Mit der starren Sternpunkterdung wurden nun die Beeinflussungsprobleme nicht nur durch eine hohe induktive und galvanische Beeinflussung wesentlich verschärft, sondern es mußte auch die Personengefährdung durch Schritt- und Berührungsspannungen in den Umspannwerken und in der Nähe der Freileitungsmaste

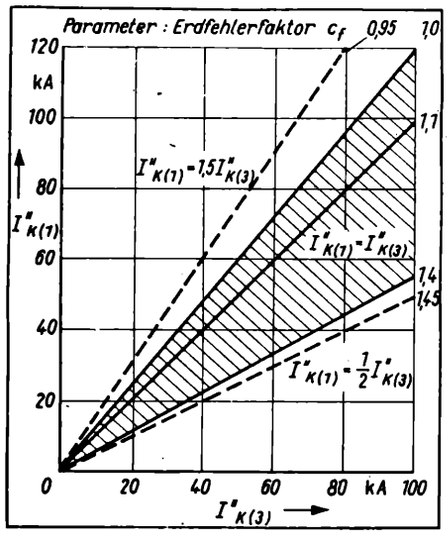



**Bild 2**
Zusammenhang zwischen $I''_k$ (3) und $I''_k$ (1) in Hochspannungsnetzen

auf Grund der hohen Nullstromflüsse über Erde besonders beachtet werden [24]. Auf einige Aspekte bei starrer Sternpunkterdung soll an dieser Stelle noch eingegangen werden. So besteht ein fester Zusammenhang zwischen dem dreipoligen Anfangskurzschlußwechselstrom $I''_{k(3)}$ und dem einpoligen $I''_{k(1)}$ gemäß

$$I''_{k(1)} = \frac{3\, I''_{k(3)}}{2 + \frac{Z_0}{Z_1}}.$$

Im Bild 2 sind die sich damit ergebenden Erdkurzschlußströme mit dem Erdfehlerfaktor $c_f$ als Parameter, der maßgeblich vom Verhältnis der Nullimpedanz $Z_0$ zur Mitimpedanz $Z_1$ bestimmt wird, angegeben. Der übliche Bereich ist dabei schraffiert angegeben. Dieser gesamte Erdkurzschlußstrom kommt glücklicherweise für die Beeinflussung aller Arten nicht zum Tragen, sondern nur jeweils Anteile davon. So zeigt Bild 3, wie aus den Verteilungen der dreifachen Nullströme, die den Teilerdkurzschlußströmen entsprechen, für eine Näherung die wirksamen Nullströme bestimmt werden. Für den eingetragenen Näherungsabschnitt bringt die Annahme einer Fehlerstelle in II durch den Teilerdkurzschlußstrom $(3I_{0A})_{II}$ die größte induktive Beeinflussung. Hinzu kommt noch, daß durch die Erdseile ein sog. Kettenleiter entsteht und damit nur 5 bis 10 % dieses Stromes, je nach Art und Anzahl der Erdseile am fehlerbehafteten Mast in die Erde eintreten, während 95 bis 90 % über bis zu 20 Nachbarmaste verteilt in die Erde abfließen [25]. Damit verbleiben bei Erdseilen aus Stahl nur 5 bis 10 % noch im Erdseil (Reduktionsfaktor der Erdseile $r_E = 0{,}95 \cdots 0{,}9$) und solchen aus AlSt 30 bis 55 % ($r_E = 0{,}7 \cdots 0{,}45$). Auch für die galvanische Beeinflussung der Einführungskabel in Umspannwerke bzw. die Potentialanhebung der Erdungsanlage und damit verbundenen Schritt- und Berührungsspannungen ist gemäß Bild 4 nur ein potentialanhebender Strom $I_p$ wirksam, der ebenfalls maßgeblich vom Reduktionsfaktor der Erdseile abhängt. Obwohl diese Verhältnisse

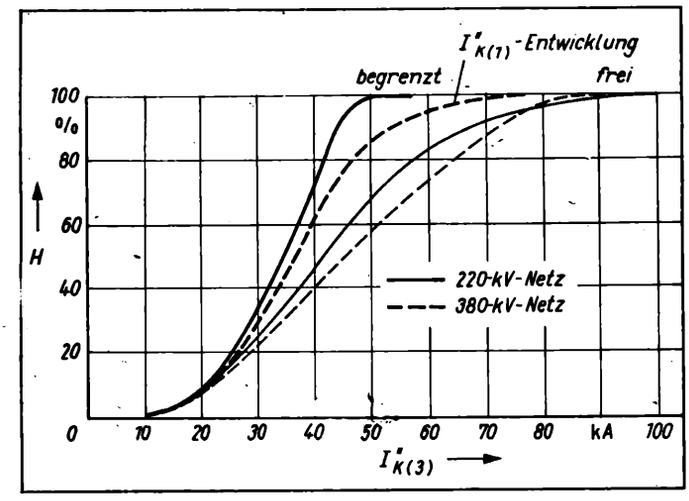



**Bild 5.** Summenhäufigkeit der dreipoligen Angangskurzschlußwechselströme $I''_k$ (3) sowie der einpoligen im 380/220-kV-Netz der DDR in der Perspektive

natürlich von Anfang an bekannt waren, kostete es viel Überzeugungsarbeit, um den Übergang von den früher üblichen Stahl-Erdseilen auf Stahl-Aluminium-Erdseil durchzusetzen und ältere St-Erdseile durch AlSt auszuwechseln. Der seit einigen Jahren 1 bis 2 km vor den Umspannwerken praktizierte Übergang auf 380-kV-Masten mit 2 AlSt-Erdseilen (erhöhte Schutzstrecke gegen Blitzeinschläge) bringt ebenfalls Vorteile für die Starkstrombeeinflussung und Personengefährdung durch Schritt- und Berührungsspannungen, abgesehen von einem erhöhten Blitzschutz [26] [27].

## 5. Begrenzung von Erdkurzschlußströmen

In den sechziger Jahren waren sowohl die dreipoligen als auch einpoligen Kurzschlußströme noch relativ gering. Sie stiegen jedoch mit dem weiteren Ausbau des 380/220-kV-Netzes rasch an. Bei einer freien Entwicklung der Kurzschlußströme würden sich in der Perspektive im Verbundnetz der DDR dreipolige Kurzschlußströme bis 100 kA und einpolige bis 75 kA ergeben, wie aus Bild 5 hervorgeht, was jedoch ökonomisch sowohl wegen der rasch steigenden Kosten für die Schaltanlagen und Transformatoren als auch der Beeinflussungsprobleme nicht diskutabel ist. So wird durch die Aufteilung der Kraftwerksblöcke auf verschiedene Sammelschienen und getrennte Sammelschienenfahrweise im 380/220-kV-Netz der dreipolige Kurzschlußstrom unter 55 kA gehalten [28].

Durch teilstarre Sternpunkterdung, d. h., es werden nicht alle Sternpunkte der Transformatoren geerdet, und Einsatz von Volltransformatoren zur Kupplung des starr geerdeten 380-kV-Netzes mit den resonanzsternpunktgeerdeten 110-kV-Netzen werden Erdfehlerfaktoren zwischen 1,3 und 1,4 erreicht, was gemäß Bild 2 Erdkurzschlußströme von 30 kA bis höchstens 40 kA bedeutet. Damit wird eine weitere Eskalation der Beeinflussungs-

**Bild 3.** Bestimmung der Teilerdkurzschlußströme im Näherungsabschnitt

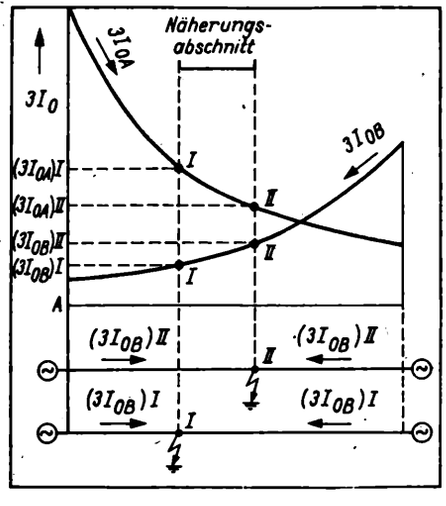
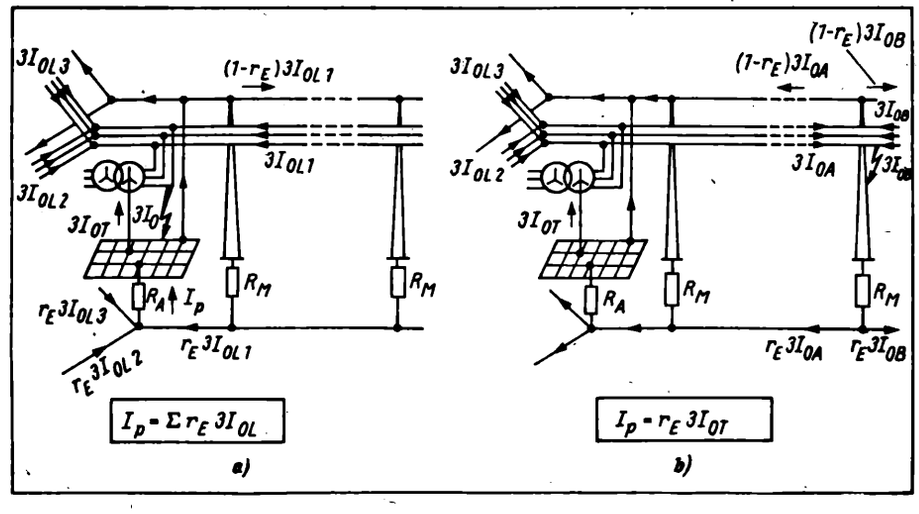



**Bild 4.** Bestimmung des potentialanhebenden Stromes $I_p$ in Umspannwerken
a) bei Fehler in der Schaltanlage
b) bei Fehler außerhalb der Schaltanlage



probleme vermieden. Der Einsatz von Sternpunktdrosseln, das Öffnen der Tertiärwicklung der Spartransformatoren und die Verwendung Stern/Stern-geschalteter Maschinentransformatoren wären weitere Möglichkeiten zur Reduktion der Erdkurzschlußströme. Durch den zunehmenden Einsatz von HGÜ-Verbindungen anstelle der Drehstromübertragung für Fernverbindungen und von Gleichstrom-Kurzkupplungen zwischen größeren Netzverbänden werden die Kurzschlußströme in den Drehstromsystemen nicht erhöht, so daß sie auch zu den Kurzschlußstrom-Begrenzungsmaßnahmen zählen [29] [30]. Die zunehmende Dichte des 380/220-kV-Netzes in der DDR führte auch zu Überlegungen, durch einen Pauschalschutz an den Fernmeldeanlagen der Deutschen Post allen zu erwartenden Beeinflussungen Rechnung zu tragen [31]. In den niederohmig geerdeten 110-kV-Stadtkabelnetzen und Mittelspannungsnetzen werden von vornherein die auch im Bild 1 angegebenen Schranken von 5 kA bzw. 1,5 kA eingehalten, so daß keine Gefährdung durch kurzzeitige induktive oder galvanische Beeinflussung zu erwarten ist, zumal die Reduktionswirkung der Kabelmäntel hinzukommt [32].

## 6. Probleme bei Nennspannungen ab 750 kV

Beim Übergang auf Nennspannungen von 750 kV oder 1150 kV gibt es bezüglich der induktiven und galvanischen Beeinflussung keinerlei Änderungen. Die kapazitive Beeinflussung von parallelen Fernmelde-Freileitungen wird natürlich entsprechend höher, d. h. der Beeinflussungsbereich längs der Trasse wird etwas größer. Nachdem man bereits unter Freileitungen und in Umspannwerken mit 220-kV- und 380-kV-Nennspannungen die Wirkung des elektrischen Feldes auf den Menschen untersucht und festgestellt hatte, daß es ungefährlich ist [33], wurden insbesondere in der UdSSR und den USA im Zusammenhang mit der Einführung der Spannungsebene 750 kV umfangreiche Untersuchungen angestellt und auch auf der CIGRE diskutiert [34] [35] [36]. Die Diskussionen waren sehr kontrovers. Die Meinungen reichten von Aussagen wie „völlig harmlos" bis zu „irreparablen Gehirnschädigungen", wobei auch subjektive Aussagen von Versuchspersonen zu einer völligen Überbewertung beitrugen [37] [38]. Zur Klärung der Probleme haben vor allem *Silny* und *Haubrich* in jüngster Zeit beigetragen. So schreibt *Silny* [39]: *„Alle Experten, die sich ernsthaft mit der Problematik beschäftigen, sind sich heute einig, daß durch die Influenzwirkung des elektrischen 50-Hz-Feldes der in der Praxis in frei zugänglichen Bereichen maximal vorkommenden Feldstärken von 20 kV/m der menschliche Organismus in keiner Weise beeinflußt werden kann"*. Auch die Sekundäreffekte, d. h. spürbare bis störende Funkenentladungen bei Berührung eines von Erde isoliertem metallischen Gebildes, wie Pkw oder Lkw, bringen keine Gefährdung, weil gefährliche Berührungsströme ($> 9$ mA) bzw. Entladungsimpulse ($> 45$ µC) beim Pkw erst bei Bodenfeldstärken über 120 kV/m und beim Lkw über 36 kV/m auftreten, wobei ideal isolierende Reifen angenommen werden [40]. Selbst ungünstige Leiteranordnungen an den Masten führen sogar bei 1200 kV zu Bodenfeldstärken kleiner 20 kV/m. Natürlich wird man beim Halt unter einer Höchstspannungsleitung eine Funkenentladung spüren, die aber völlig ungefährlich ist. Trotzdem wird z. B. in der UdSSR vorsichtshalber durch entsprechende Hinweisschilder an den Straßen ein Haltverbot ausgesprochen. Mit zunehmender Spannungshöhe werden jedoch trotz Bündelleiter die Koronaentladungen immer stärker und damit auch die Störungen des Rundfunk- und Fernsehempfangs nahegelegener Wohngebiete. Sie stellen damit auch ein Umweltproblem dar, das im Rahmen der EMV-Probleme mit behandelt wird. Wie in [1] ausgeführt wurde, erfordern die Übertragungsaufgaben in der DDR weder bis zum Jahr 2000 noch in den Jahren danach eine Spannungsebene über 380 kV, was wohl auch für alle westeuropäische Länder zutrifft.

## 7. Schlußfolgerungen

Ergänzend zu [1] wurde aus gegebenem Anlaß versucht, einen Abriß auch der Entwicklung der Beeinflussungsprobleme in Verbindung mit Drehstromanlagen zu geben. Dabei konnte ich an der Lösung der Probleme, insbesondere im Zusammenhang mit der Umstellung des 220-kV-Netzes auf starre Sternpunkterdung, als Mitarbeiter im Verbundnetz Ost sowie bei der Erarbeitung der Richtlinien, Leitsätze und später des Standards TGL 200-0605 als stellvertretender Vorsitzender des FA „Starkstrombeeinflussung" bis heute mitwirken. Ich habe mich deshalb bewußt auf die Beeinflussungsprobleme bei Fernmeldeanlagen konzentriert und andere nur gestreift, zumal in den folgenden Beiträgen auch die Beeinflussungen durch elektrische Bahnen behandelt werden.

Man möge mir auch nachsehen, daß ich bei weitem nicht alle mir zur Verfügung stehenden Literaturstellen angegeben habe, weil das den Umfang dieses Artikels gesprengt hätte. Hauptziel war es vielmehr, den schon Jahrzehnte in der Energieversorgung, bei Post oder Bahn arbeitenden Kollegen einige wesentliche Etappen der Entwicklung wieder in Erinnerung zu rufen und den jungen Ingenieuren aufzuzeigen, daß auch die Probleme der Beeinflussung von Fernmeldeanlagen speziell und der EMV allgemein nicht von heute auf morgen zu lösen waren und es vieler Untersuchungen und Überlegungen bedurfte, um technisch-ökonomische Lösungen zu finden, damit das zweifellos immer bestehende Risiko in Grenzen bleibt.

### Literatur


[1] *Pundt, H.:* Inbetriebnahme der 110-kV-Leitung Lauchhammer – Riesa vor 75 Jahren – Ein Meilenstein der Elektroenergieübertragung in Europa. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 9, S. 324–331

[2] *Pundt, H.:* Auswirkung der Sternpunkterdung auf die Beeinflussungsprobleme. Informationsheft des IPF Nr. 92 (1963) S. 107–113

[3] TGL 200-0605: Kreuzungen und Näherungen zwischen Informations- und Starkstromanlagen

[4] *Klewe, H.:* Zur Geschichte der Beeinflussung von Fernmeldeleitungen durch Starkstromleitungen. ETZ 95 (1964) 20, S. 625–630

[5] Sicherheitsaufhängung elektrischer Starkstromleitungen. ETZ 30 (1909), S. 903–904

[6] *Willheim, R.:* Das Erdschlußproblem in Hochspannungsnetzen. Berlin: Springer-Verlag 1936, S. 310 und 311

[7] *Sothmann, P. W.; Teichmüller, J.:* Die mit 110000 V arbeitende Überlandzentrale des Staates Ontario (Kanada). ETZ 32 (1911), S. 1025

[8] *Rüdenberg, R.:* Sternpunkterdung in Hochspannungsleitungen, einige grundsätzliche Betrachtungen. ETZ 47 (1926), S. 322–324 und 359–364

[9] *Rachel, A.:* Höchstspannungsfragen und Nullpunkterdung. ETZ 47 (1926), S. 289–294 und 333–339

[10] Patentschrift Nr. 304823, Klasse 21 c, Gruppe 61 Einrichtung zur Unterdrückung des Erdschlußstromes von Hochspannungsnetzen. 24. Januar 1917

[11] *Petersen, W.:* Die Begrenzung des Erdschlußstromes und die Unterdrückung des Erdschluß-Lichtbogens durch die Erdschlußspule. ETZ 40 (1919) 2, S. 5–1 und 17–19

[12] *Friedrich, H.:* Sternpunktbehandlung im 110-kV-Netz der DDR. Bericht Nr. 3/1584/66 F des IfE Leipzig

[13] *Pundt, H.:* Probleme der Betriebssicherheit und Beeinflussung in Verbindung mit der Sternpunktbehandlung von Hochspannungsnetzen bis 110 kV. Habilitation TU Dresden 1968

[14] Sonderheft: Vorträge zur SfH-Tagung „Sternpunktbehandlung und Netzumstellung" am 16. und 17. Mai 1961 in Karlsruhe. ETZ-A 82 (1961) 21, S. 653–692

[15] *Hermann, F.; Pietzsch, H.:* Probleme bei der Einführung der niederohmigen Sternpunkterdung im 110-kV-Stadtnetz Dresden. Energietechnik 29 (1979) 9, S. 356–362

[16] *Zaduk, H.:* Umstellung des im 110-kV-Netz des Bayernwerkes zusammengeschlossenen Großverbundnetzes auf starre Sternpunkterdung. Techn. Bericht Nr. 181 der SfH (1957)

[17] *Gampenrieder, R.; Gehring, W.; Weinmann, T.:* Betriebserfahrungen mit der Sternpunkterdung im 110-kV-Netz der Bayernwerke AG. EW 69 (1970) 21, S. 570–576

[18] *Stühlen, H.:* Erfahrungen mit der starren Sternpunkterdung im 220-kV-Netz des RWE. Techn. Bericht Nr. 181 der SfH (1957)

[19] Sonderdruck: Beeinflussung von Fernmeldeeinrichtungen durch Starkstromanlagen. KDT-Arbeitstagung am 28. Februar 1957 in Berlin

[20] Sonderheft: KDT-Tagung Starkstrombeeinflussung am 13. März 1958. Mitt. des IPF Berlin

[21] Veröffentlichung der wichtigsten Vorträge und Diskussionsbeiträge der Arbeitstagung „Erdungsfragen in Hochspannungsanlagen". Deutsche Elektrotechnik 12 (1958) 6, S. 191–200

[22] Sonderheft: Probleme der Nullpunkterdung in Höchstspannungsnetzen. BB-Mitt. 35 (1948) 7/8

[23] *Mangoldt, W. V.:* Gedanken zur Sternpunktbehandlung bei 380-kV-Drehstromübertragungen. ETZ 71 (1950) 17, S. 462–469

[24] *Hieke, C.:* Starre Sternpunkterdung im 220-kV-Verbundnetz. Mitt. d. IfE (1957) 3, S. 36–60

[25] *Muckenhuber, R.:* Die Bestimmung der Teilkurzschlußströme in Hochspannungsnetzen bei Fehlern mit Erdberührung. EuM 82 (1965) 12, S. 575–586

[26] *Kühnel, E.; Latzel, G.:* Die Verteilung des Fehlerstroms auf Erdseil und Masterdungen bei stationsnahem Fehler in Hochspannungsnetzen mit Sternpunkterdung. EW 67 (1968) 23, S. 681–685

[27] *Stegemann, G.:* Blitzschutz von Elektroenergieübertragungsanlagen, das verbundnetz 44 (1987) S. 1081–1086

[28] *Stegemann, G.:* Entwicklung und Bestimmung der maximal zulässigen Kurzschlußströme im 380/220-kV-Netz der DDR. ELEKTRIE 32 (1978) 8, S. 425 bis 428

[29] *Pundt, H.:* Einfluß steigender Kurzschlußströme auf die Gestaltung von Elektroenergiesystemen. ELEKTRIE, Berlin 30 (1976) 1, S. 21–24

[30] *Osman, Z.; Pundt, H.:* Optimierung der Erdkurzschlußströme in Übertragungsnetzen. ELEKTRIE, Berlin 34 (1980) 10, S. 507–510

[31] *Lorke, H.:* Probleme des Pauschalschutzes von Fernmeldeanlagen gegen Beeinflussung durch Hochspannungsleitungen. IPF-Mitt. (1969) 6, S. 11–14

[32] *Feist, K.-H.:* Über den Reduktionsfaktor von Starkstromkabeln. Siemens Zeitschr. 39 (1965) 1, S. 61–67

[33] *Streubel, H.; Reissmann, A.:* Kapazitive Aufladung von Menschen und metallischen Gegenständen. ELEKTRIE, Berlin (1964) 1, S. 29–34

[34] *Kouveschoven, W.*, u. a.: Medical evaluation of man working in a.c. electric fields. IEEE Trans. PAS 86 (1967) 4, S. 506–511

[35] *Korobkova, V. P.:* Influence du Champ électrique dans les postes a 500 et 750 kV sur les equipes d'entretien et les moyens de leur protection. CIGRE-Ber. 23-06 (1972)

# EMV-Probleme durch Energieversorgungsanlagen in der VR Polen

**A. Pilatowicz, Warschau**

Auch in der Volksrepublik Polen werden EMC-Probleme von Forschungszentren und Instituten untersucht. Deren Ergebnisse werden alle zwei Jahre auf dem internationalen EMC-Symposium in Wrocław vorgestellt [1]. Einige der Probleme betreffen den Einfluß von Hochspannungsanlagen auf die Umwelt, z.B. auf Fernmeldeanlagen und den Rundfunk- und Fernsehempfang.
Das Institut für Hochspannung leitet seit 20 Jahren die Arbeiten zur Bestimmung und Begrenzung möglicher Wirkungen von Hochspannungsanlagen in Zusammenarbeit mit anderen inländischen Zentren (Institut für Fernmeldewesen, Zentrum für Forschung und Messung ENERGOPOMIAR, Büro für Projektierung von Starkstromanlagen ENERGOPROJEKT) sowie mit internationalen Organisationen (CIGRE, CISPR, CCITT). Im Ergebnis dieser Aktivitäten wurden Prüf- und Meßmethoden zur Bestimmung der störenden Einflüsse entwickelt. Außerdem wurden neben Standards, Empfehlungen und kompletten Handbüchern auch praktische Methoden zur Begrenzung der Beeinflussung von Rundfunk- und Fernsehempfang, Fernmeldeanlagen sowie der Wirkung des elektromagnetischen Feldes bei der Frequenz von 50 Hz entwickelt.

## 1. Störung von Rundfunk und Fernsehen

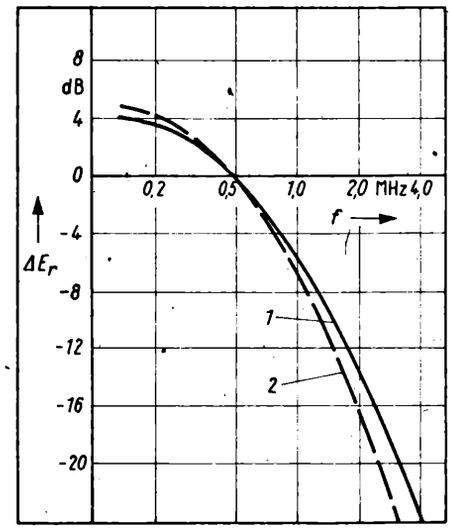
Der zunehmende Ausbau des Hochspannungssystems und die damit verbundene Konstruktion von Freileitungen und Umspannwerken für Spannungen von 220 bis 750 kV führten zu der Notwendigkeit, das „Korona-Phänomen" und die daraus resultierenden Störungen bei Rundfunk (0,1 bis 30 MHz) und Fernsehen (30 bis 300 MHz) zu untersuchen. Die umfangreichen Testserien auf der Grundlage von reproduzierbaren Prüfabläufen und mit definierten Meßmitteln (empfohlen durch CISPR) für inländische Hochspannungs- und Umspannanlagen (z.B. 400 kV/750 kV) und Umspannanlagen der CMEA-Länder [2] lassen folgende allgemeine Aussagen zu:

- In der Umgebung von exakt projektierten und arbeitenden Hochspannungsanlagen und Umspannwerken im mittleren Spannungsbereich bis 110 kV treten Funkstörungen nicht auf.
- 220- bis 750-kV-Hochspannungsanlagen und -Umspannwerke beeinflussen bei störungsfreier Arbeit den Fernsehempfang nicht.
- Das Auftreten von Störungen im Fernsehband wird ausschließlich durch Fehler in einzelnen Teilen der Hochspannungsanlagen und Umspannwerke verursacht, die zu plötzlichen Entladungen führen.
- Messungen in verschiedenen Ländern, die mit Meßgeräten auf der Grundlage von CISPR-Empfehlungen durchgeführt wurden, brachten bei Hochspannungsleitungen mit ähnlichen Parametern übereinstimmende Ergebnisse.

Eine detaillierte Analyse der Resultate zeigt, daß sich der Funkstörpegel in Übereinstimmung mit der typischen CISPR-Amplitudenkurve (Bild 1) in Abhängigkeit von der Frequenz ändert. Des weiteren wurde eine Abhängigkeit der Funkstörung von der Entfernung zur Hochspannungsleitung nachgewiesen, die durch einen Faktor $k$ ($k = 1{,}9$ bis 2,1 für 220-kV-Linien, $k = 1{,}75$ bis 1,8 für 400-kV-Linien, $k = 1{,}5$ bis 1,6 für 750-kV-Linien) dargestellt wird.

Prof. Dr. sc. techn. *Andrzej Pilatowicz*, Instytut Energetyki, ul. Mory 8, 01-330 Warschau

**Bild 1**
Frequenzspektrum der Funkstörung (Bezugsfrequenz 0,5 MHz)
1 CISPR, 2 gemessen an einer realen Leitung




Bei Leitungen mit einer ebenen Anordnung der Leiter kann der abgestrahlte Geräuschpegel $E_r$ bei 0,5 MHz folgendermaßen bestimmt werden [2]:

$$E_r = E_r' + k_g\,(g_m - g_m') + 40 \lg \frac{r_0}{r_0'} + 20\,k \lg \frac{d'}{d} + 20\,(k-1) \lg \frac{h}{h'}, \quad (1)$$

$$E_r = 29{,}3 + 3{,}8\,g_m - 34 \lg d \quad (2)$$

mit

| | |
|---|---|
| $E_r$ | Geräuschpegel bei 0,5 MHz und gutem Wetter in dB |
| $g_m$ | maximale elektrische Feldstärke bei Hochspannungsleitungen in kV/cm |
| $r_0$ | Radius der Hochspannungsleitung in m |
| $d$ | direkte Meßdistanz vom äußeren Hochspannungsleiter in m |
| $h$ | Höhe der Hochspannungsleitung in m |
| $k_g$ | $\approx 325$ Koeffizient, der die Wirkung der sich ändernden Feldstärke an der Leiteroberfläche auf den Geräuschpegel darstellt |
| $k$ | Geräuschdämpfungsfaktor |
| $E_r', g_m', r_0', d', h'$ | Meßwerte an einer Hochspannungsleiteranordnung |

Weil die statistische Verteilung von Geräuschpegeln bei verschiedenen Witterungsbedingungen für alle Leitungstypen ähnlich ist und kaum von den CISPR-Kurven abweicht, wurde für die Volksrepublik Polen entschieden, den abgestrahlten Geräuschpegel [3] mit 57,5 dB ($\triangleq$ 750 µV/m) in einer horizontalen Entfernung von 20 m von der Leitung, bei einer Frequenz von $500 \pm 10$ kHz und gutem Wetter (Temperatur über 5 °C, relative Luftfeuchte nicht größer als 80 %) festzulegen. Bei Hochspannungsleitungen, die auf Abstrahlung von Geräuschpegeln im Funkfrequenzbereich untersucht wurden, traten keine Störungen des Rundfunk- und Fernsehempfangs auf. Die Aktivitäten auf diesem Gebiet konzentrieren sich daher auf die Untersuchung von neuen Hochspannungsleiter-Konfigurationen und die Erkennung von fehlerhaften Komponenten, die den Fernsehempfang stören könnten.

## 2. Beeinflussung von Fernmeldeanlagen

Die Wirkungen von Hochspannungsanlagen auf Fernmeldeeinrichtungen wurden schon häufig unter dem Gesichtspunkt der magnetischen, galvanischen und kapazitiven Kopplungen untersucht. Dazu führte man sowohl in der Praxis als auch an Modellen Messungen durch, um die möglichen Gefahren für Bedienungspersonal und Fernmeldetechnik zu erkennen. Es stellte sich heraus, daß Längsspannungen, die in Leitungen mit verschiedenen Längen induziert werden und deren zulässige Größe zur Auswahl von entsprechenden Schutzelementen festgelegt ist, nicht verantwortlich für derartige Gefahren sind.
Die Zerstörungsgefahr für die Isolation der Gesamteinrichtung hängt in erster Linie von Spannungen zwischen den Kabeladern und geschützten Erdelektroden ab. Des weiteren wurden die Beziehungen zwischen den letztgenannten Spannungen und den induzierten Längsspannungen bei Leitungen mit verschiedenen Längen und unterschiedlicher Anzahl und Art von Leitern bestimmt. Einige der Testresultate konnten in Dresden vorgestellt werden [4]. Bekannt ist, daß sich Längsspannungswerte erhöhen,

[36] *Schneider, K.-H.*, u.a.: Displacement currents to the human body caused by the dielectric field under overhead lines. CIGRE-Ber. 36-04 (1974)
[37] *Fecko, S.; Homola, J.; Ziaren, J.*: Ökologische Probleme bei Hochspannungsfreileitungen. ELEKTRIE, Berlin 36 (1982) 11, S. 563–567
[38] *Feydt, M.*: Beeinflussung von Objekten im Nahbereich von Freileitungen. ELEKTRIE, Berlin 36 (1982) 11, S. 567–571
[39] *Silny, J.*: Der Mensch in energietechnischen Feldern. EW 84 (1985) 7, S. 245 bis 252
[40] *Haubrich, H.-J.*: Biologische Wirkung elektromagnetischer 50-Hz-Felder auf den Menschen. EW 86 (1987), S. 697–705

EA 5868

wenn die zulässige Spannung (430 V) zu Erde und zu geschützten Erdelektroden erreicht wird und spezielle Schutzmaßnahmen wie Isolierung von Werkzeugen oder Fußböden gewährleistet sind Um gefährliche Wirkungen zu bestimmen, entwickelte „Energoprojekt" verschiedene Computerprogramme. Sie dienen zur Bestimmung des Einflusses von Widerstands- und Leitwertkopplungen und gleichzeitig vorhandenen magnetischen und Widerstands(Leitwert-)kopplungen. Es wurde festgestellt, daß der Reduktionsfaktor von Mantel und Schirm von Fernmeldekabeln in Abhängigkeit von der Anzahl der Kabel, der Form der Erdung von Mantel und Schirm, der geometrischen Anordnung usw. beträchtlich von den im Labor definierten Größen abweichen kann. Berechnungsmethoden wurden durch Messungen verändert und werden gegenwärtig zur Bestimmung der Verteilung von Potentialen in der Umgebung von Erdelektroden von Hochspannungsmasten und Umspannwerken sowie Schirmen und Mänteln von Fernmeldekabeln genutzt [5]. Die dabei erreichten Testresultate wurden bei der Gestaltung des „Handbuches für den Schutz von Fernmeldekabeln und Ausrüstungen gegen schädliche Wirkungen von Hochspannungsanlagen und Gleichstromübertragungslinien" (herausgegeben 1966, 1974 und 1986) angewendet. Trotz des berechtigten Verlangens, die zulässigen Werte für induzierte Längsspannungen und Spannungen an Erdelektroden von Hochspannungsmasten und Umspannwerken im Fehlerfall zu erhöhen, wurden im Laufe der Zeit nur geringfügige Veränderungen in den Bestimmungen vorgenommen. Das Handbuch von 1986 läßt beispielsweise für Fernmeldefreileitungen mit Übertragerabschluß oder mit leistungsfähigen Überspannungsableitern eine Spannung von 650 V für die Fehlerzeit $t_f \geq 0{,}3$ s und 1000 V für $t_f < 0{,}3$ s zu, während die vorangegangene Ausgabe nur 650 V ermöglichte. Ähnliches gilt für die zulässige induzierte Längsspannung in Kabeln. Deren Größe stieg von 60 % (1974) auf 80 % (1986) der zulässigen Prüfspannung zur Spannungsfestigkeit an. Dieser Trend, die zulässigen induzierten Längsspannungen und Spannungen, die von Fehlern in Hochspannungsanlagen herrühren, zu erhöhen, tritt ebenfalls in der CIGRE-Studiengruppe 36 auf, in der ein polnischer Repräsentant mitarbeitet. Das Institut für Fernmeldewesen führte einige Messungen durch, die sich mit Störeffekten in Fernmeldekabeln, die in der Nähe von 400-kV-Hochspannungsleitungen betrieben werden, befaßten. Man erkannte, daß besonders die Unsymmetrie der Fernmeldeanlagen für die Größe der auftretenden Störspannungen verantwortlich ist. Es ergab sich jedoch, daß das Verhältnis von psophometrisch bewerteter zu vorausberechneter Störspannung bei Fernmeldeanlagen mit ausreichender Symmetrie in der Größenordnung von 0,19 bis 0,27 lag. Das überzeugte doch von der Notwendigkeit, die Berechnungsverfahren und die Daten, die die Spannungs- und Stromharmonischen in 400-kV-Leitungen beschreiben, etwas abzuändern. Diese Probleme werden unter Berücksichtigung digitaler Rechenmethoden die Aufgaben in der näheren Zukunft auf dem Gebiet des Fernmeldewesens sein.

### 3. Elektrisches Feld 50 Hz

Die Untersuchungen von elektromagnetischen Feldern im internen Betrieb von Hochspannungsleitungen und Umspannwerken wurden in der Volksrepublik Polen unter dem Gesichtspunkt der geplanten Konstruktion von Verbundnetzen mit einer Nennspannung von 750 kV durchgeführt. Anfangs konzentrierte man diese Arbeiten auf Methoden zur Festlegung der Verteilung des elektrischen und magnetischen Feldes bei 50 Hz und die Bestimmung der Abhängigkeit von der Feldstärke und von Gestaltungsparametern der Ausrüstung. Danach wurden medizinische und biologische Tests durchgeführt. Die Lösung dieser Probleme führte zur praktischen Anwendung von Methoden zur Berechnung und Messung der Feldverteilung sowie zur Möglichkeit, über diese Verfahren auch in komplexen Systemen (z. B. Umspannwerke) mit Modellvorstellungen zu Feldbestimmungen zu gelangen. Dabei konnte die magnetische Feldkomponente aufgrund ihrer geringen Größe in diesem Frequenzbereich vernachlässigt werden. Die Meßtechnik des elektrischen Feldes bei 50 Hz basierte auf Meßgeräten mit flachen und Kugelelektroden.

Epidemiologische und biologische Tests führten zu folgenden praktischen Ergebnissen [6]:

— Eine elektrische Feldstärke von 16 bis 19 kV/m ist eine störende Erregung, die nach einer gegebenen Einwirkungszeit zu Veränderungen im lebenden Organismus führen könnte, obwohl er sich nach längerer Zeit daran gewöhnen kann.

— Eine elektrische Feldstärke von 10 bis 16 kV/m ist eine unterschwellige Erregung, die zu statistisch kaum nachweisbaren, unbedeutenden Veränderungen im lebenden Organismus führt.

— Eine elektrische Feldstärke, die kleiner als 10 kV/m ist, verursacht keine Veränderungen im Organismus.

Diese Resultate dienen zusammen mit Ergebnissen aus anderen Ländern als Grundlage für die Festlegung von Empfehlungen von zulässigen elektrischen Feldstärken bei einer Frequenz von 50 Hz [7]:

— Die maximale Feldstärke in der Umgebung von Hochspannungsanlagen sollte nicht größer als 10 kV/m sein.

— Die elektrische Feldstärke in Gebieten, in denen Wohnhäuser oder Gebäude mit besonderen Schutzanforderungen, z. B. Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, vorhanden sind, sollte nicht größer als 1 kV/m sein.

In der Umgebung von Hochspannungsleitungen mit elektrischen Feldstärkewerten von 1 bis 10 kV/m ist eine zeitweilige Anwesenheit von Menschen zulässig.

Die Gestaltung der Struktur von Hochspannungsleitungen, besonders 400 und 750 kV, sowie die Auswahl der entsprechenden Trassen muß unter Berücksichtigung der entsprechenden Empfehlungen zum Schutz der Umgebung durchgeführt werden. Die jeweiligen technischen Empfehlungen geben der Verteilung des elektrischen Feldes in der Umgebung von Hochspannungsanlagen ein typisches Bild. Die Größe der Feldstärke ist über Gleichungen mit den Gestaltungsparametern der Hochspannungsleitungen (an erster Stelle die Höhe der Leitungsführung) verbunden.

In der Gegenwart sind die Probleme, die sich mit dem Schutz von Arbeitspersonal innerhalb von Hochspannungsanlagen und Umspannwerken beschäftigen, in Bewegung, z. B. Meßmethoden der elektromagnetischen Feldstärken und möglicher auftretender Körperströme, Auswahlprinzipien von Schutzbekleidung und Ausrüstung usw.

**Literatur**


[1] Eighth International WROCLAW Symposium on Electromagnetic Compatibility – Electromagnetic Compatibility 1986. Full papers, Parts 1–3, Wroclaw 1986

[2] *Jermendy, L.*, u.a.: Radio interference caused by 400 and 750 kV transmission lines. ELECTRA (1982) No 84

[3] PN-77/E-05118 – Industrial Radio Interference. Field Measurement of Interference due to Corona on Electrical H. V. Lines and Substations. General Requirements and Tests

[4] *Pilatowicz, A.:* Beeinflussung von Fernmelde- und Steuerungsanlagen durch Hochspannungsleitungen. 3. Fachtagung mit internationaler Beteiligung „Starkstrombeeinflussung von Fernmeldeanlagen", Dresden, 1970

[5] *Borucki, R.*, u.a.: Influence of earth – fault current in overhead AC transmission lines on underground conductors. CIGRE Symposium 22-81, Stockholm 1981

[6] *Stanosek, J.*, u.a.: Study of the effect of the 50 Hz electric field on living organism. Energetyka, Warszawa 1981, No 7/8

[7] Decree of 5 November 1980 of the Cabinet concerning particular rules of protection against non-ionizing electromagnetic fields dangerous for people and the environment. Official Gazette of the Polish Popular Republic, Warszawa 1980, No 25


EA 5869


Soeben erschienen

**VEM-Handbuch Hochstromtechnik**

**Grundlagen, Dimensionierung und Ausführung von Hochstromanlagen**

Von einem Autorenkollektiv. Berlin: VEB Verlag Technik 1987. 2., stark bearbeitete Auflage. 516 Seiten, 335 Bilder, 144 Tafeln. Kunstledereinband 43,— Mark.
Bestell-Nr. 553 720 7

Der Inhalt des Buches umfaßt die theoretischen Grundlagen zur Berechnung der Hochstromfortleitung und Bemessung der Leitungen, besonders der Stromverdrängung sowie der mechanischen und thermischen Festigkeit, die Näherungs- und Umgebungsbeeinflussungen, die Kennwerte der Hochstrombetriebsmittel sowie die Technik, Prüfung und Instandhaltung von Hochstromanlagen. Eingeschlossen sind Ausführungen zur Optimierung in bezug auf Herstellungs- und Betriebskosten, energetischen Wirkungsgrad und Materialeinsatz.

In der vorliegenden, stark bearbeiteten Auflage sind die in den letzten 10 Jahren auf dem Gebiet der Hochstromtechnik gewonnenen neuesten wissenschaftlich-technischen Erkenntnisse berücksichtigt und als Arbeitsunterlagen und Hinweise für Projektanten, Konstrukteure und Errichter sowie für die Betreiber als Grundlage für eine energiewirtschaftliche Betriebsführung der Hochstromanlagen enthalten.

# Beeinflussung durch elektrische Bahnen

**P. Schmidt, KDT, Dresden**

Der für das Übertragen der elektrischen Leistung von Unterwerk zum Triebfahrzeug erforderliche Strom fließt über die Fahrleitung zum jeweiligen Standort dieses Triebfahrzeuges und von dort aus über die Fahrschienen und teilweise sowohl über das Erdreich als auch durch erdverlegte metallene Leitungen und Anlagen zum Unterwerk zurück. Unabhängig vom Bahnstromsystem sind durch die beim Übertragen der für den Transportprozeß erforderlichen elektrischen Leistungen unerwünschte Auswirkungen auf Anlagen und Leitungen, die sich im Bahnbereich befinden, möglich [1]. Unter Bahnbereich wird nach TGL 200-0632/01 der räumliche Bereich des Rechtsträgers der Bahn und der Bereich verstanden, in dem Fehler- oder Streuströme, Fehler- oder Erdungsspannungen, verursacht durch die Fahrleitungsanlage, Gefahren oder Störungen bewirken können.

Unerwünschte Auswirkungen können dabei Gefährdungsspannungen an Anlagen oder Leitungen im Bahnbereich sein, die auch in diesem Bereich arbeitende Personen gefährden können. Störspannungen bestimmter Frequenzen können zu Funktionsstörungen oder gar zur Zerstörung von Anlagen im Bahnbereich führen.

Gefährdungs- und Störspannungen werden wirksam, wenn Leiterschleifen in diesem Bereich vorhanden sind, über die die genannten Spannungen entsprechende Ströme antreiben können.

Hinsichtlich der Dauer der Beeinflussung unterscheidet man nach Langzeitbeeinflussung und Kurzzeitbeeinflussung. Langzeitbeeinflussung oder ständige Beeinflussung ist dabei die Beeinflussung, die im kurzschlußfreien Betriebsfall bei Betriebsbelastungen ab 1,0 s Dauer zu erwarten ist.

Kurzzeitbeeinflussung tritt im gestörten Betriebsfall auf und hat eine Wirkdauer unter 1,0 s. Hauptursache für große Werte von Kurzzeitbeeinflussung sind vor allem Kurzschlüsse in Unterwerksnähe sowie Blitzeinschläge in die Fahrleitung. Durch Springen des Stromabnehmers elektrischer Triebfahrzeuge und Lichtbogenbildung zwischen Schleifstück und Fahrdraht kann es zur Störung von Funk- und nachrichtentechnischen Anlagen im Bahnbereich kommen. Einschaltvorgänge im System der elektrischen Bahn können ebenfalls Ursache für kurzzeitige Beeinflussungen sein.

Die Langzeitbeeinflussung durch Betriebsströme kann sowohl durch Grund- als auch durch Oberschwingungen der Zugströme erfolgen. Gefährdungen haben dabei vorwiegend ihre Ursache in der Beeinflussung durch die Grundschwingung. Funktionsstörungen von Anlagen im Bahnbereich können durch Grundschwingungs- und/oder Oberschwingungsbeeinflussung verursacht werden.

## 1. Zulässige Berührungsspannungen und Störspannungen

Unter Berührungsspannung $U_B$ ist die Spannung zu verstehen, die bei elektrischer Durchströmung eines Menschen zwischen den Berührungspunkten (Stromeintritts- und -austrittsstelle am Körper) auftritt.

In elektrotechnischen Anlagen mit Nennspannungen bis 1000 V Wechselstrom und Nennfrequenz bis 10 kHz und Nennspannungen bis 1500 V Gleichstrom sind nach TGL 200-0602/03 Schutzmaßnahmen gegen gefährliche elektrische Durchströmung als Folge eines Körperschlusses durchzuführen, wenn in Netzen mit oder ohne geerdetem Netzpunkt der Nennwert der Leiter-Erde- bzw. Leiter-Leiter-Spannung

- 50 V Wechselspannung oder Gleichspannung mit einer Welligkeit über 10 % oder
- 120 V Gleichspannung mit einer Welligkeit bis 10 %

übersteigt. Nach TGL 200-0603, Erdung in elektrotechnischen Anlagen, sind die im Bild 1 dargestellten höchstzulässigen Berührungsspannungen in Abhängigkeit von der Gesamtausschaltzeit gültig.

Dozent Dr. sc. techn. *Peter Schmidt* ist Hochschullehrer in der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" Dresden, Sektion Fahrzeugtechnik, Wissenschaftsbereich Elektrische Bahnen.

Bild 1

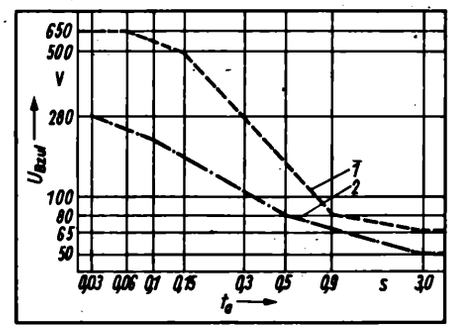



Bild 2

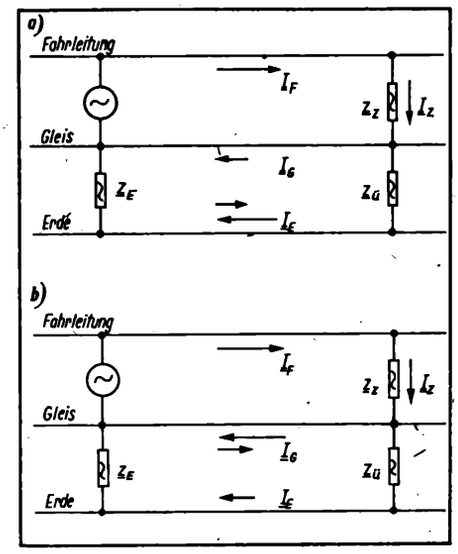



Bild 3

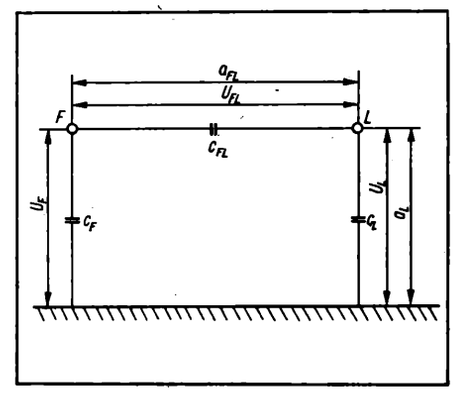



**Bild 1.** Höchstzulässige Berührungsspannung abhängig von der Gesamtschaltzeit
1 In und an elektrotechnischen Anlagen bis 1000 V Wechselspannung außerhalb von Gebäuden sowie in elektrotechnischen Betriebsräumen in Gebäuden und generell für elektrotechnische Anlagen über 1 kV Wechselspannung
2 In und an elektrotechnischen Anlagen bis 1000 V Wechselspannung in Gebäuden, ausgenommen elektrotechnische Betriebsräume

**Bild 2.** Einphasenwechselstrombahn als System zweier gekoppelter Leiterschleifen
a) Fahrleitung – Erde mit Gleis – Erde
b) Fahrleitung – Gleis mit Erde – Gleis

**Bild 3.** Kapazitive Beeinflussung einer Leitung L durch eine Fahrleitung F

Die Gesamtausschaltzeiten im Fahrleitungsnetz bei 16 2/3-Hz-Einphasenwechselstrombahnen liegen unter 100 ms; bei Gleichstrombahnen werden Werte von 30 ms nicht überschritten.

Störspannungen können bei Fernmeldeanlagen zur Beeinträchtigung der Gesprächsgüte führen. Die auch als Geräuschspannung bezeichnete Größe ist frequenzbewertet. Bei der Bewertung der Frequenz werden Oberschwingungen berücksichtigt, für die das menschliche Ohr besonders empfindlich ist. Die Bezugsfrequenz ist dabei 800 Hz. Werden die Amplituden der in der Fahrleitungsanlage fließenden Oberschwingungsströme im Hörbereich von 16 2/3 Hz bis reichlich 3 kHz mit dem psophometrischen Bewertungsfaktor $P_f$ multipliziert und entsprechend den Leistungsanteilen addiert, so erhält man den sogenannten psophometrischen oder frequenzbewerteten Störstrom. Dieser Störstrom ist die maßgebende Größe für die Störung von Fernmeldeanlagen durch elektrische Bahnen.

Während für Fernmeldeanlagen das gesamte Oberschwingungsspektrum im Sprachbereich beeinflussend wirkt, sind für die Be-

einflussung von Sicherungsanlagen (z. B. Gleisstromkreise) oder Datenübertragungskanäle oft nur einzelne diskrete Oberschwingungen maßgebend. Das betrifft z. B. bei der DR die 42-Hz- und 100-Hz- Gleisstromkreise. Bei der DB [2] wird z. B. für 100-Hz-Gleisstromkreise ein maximaler 100-Hz-Oberschwingungsstrom von 2 A je Triebfahrzeug in der Fahrleitung zugelassen.

## 2. Beeinflussung durch Einphasenwechselstrombahnen

Eine Einphasenwechselstrombahn kann als ein System zweier induktiv gekoppelter Leiterschleifen betrachtet werden. Zum einen kann dieses System als Kopplung der Schleife Fahrleitung — Gleis mit der Schleife Gleis — Erde aufgefaßt werden. Zum anderen ist auch eine Darstellung als Kopplung der Leiterschleife Fahrleitung — Erde mit der Schleife Gleis — Erde möglich. Beide Betrachtungsweisen liefern für große Abstände zwischen Speisepunkt und Triebfahrzeug gleiche Ergebnisse. Für kurze Entfernung zwischen Unterwerk und Triebfahrzeug ist eine Betrachtung zweier Leiterschleifen mit dem Gleis als gemeinsamer Leiter aussagefähiger und wirklichkeitsgetreuer (Bild 2). In [3] wurde das ausführlich beschrieben.

### 2.1. Kapazitive Beeinflussung

Durch das elektrische Feld, das die spannungsführende Fahrleitung um sich aufbaut, können durch Influenz im Einflußbereich der Fahrleitung liegende Leitungen oder Anlagenteile elektrisch aufgeladen werden. Diese elektrische Aufladung ist jedoch nur möglich, wenn die durch kapazitive Kopplung aufgeladenen Körper gegen Erde isoliert sind. Bei in Erde verlegten Kabeln oder Anlagen tritt eine kapazitive Beeinflussung nicht auf. Auch deswegen werden im Bahnbereich die Informationsleitungen verkabelt.

Zur Berechnung der durch kapazitive Aufladung auf einer Leitung $L$ gegen Erde zu erwartenden Spannung $U_L$ ist es zweckmäßig, von einem kapazitiven Spannungsteiler auszugehen (Bild 3). Die Spannung der beeinflußten Leitung hat einen Wert zwischen der Fahrleitungsspannung und dem Erdpotential entsprechend den Kapazitäten zwischen Fahrleitung und Leitung $C_{FL}$ sowie Leitung und Erde $C_L$. Es gilt

$$U_F = U_{FL} + U_L.$$

Damit findet man für die Spannung auf der Leitung

$$U_L = U_F \frac{C_{FL}}{C_L + C_{FL}}. \tag{1}$$

Die Berechnung der Kapazität zwischen Fahrleitung und beeinflußter Leitung ist kompliziert, weil bei der Fahrleitung sowohl Fahrdraht als auch Tragseil spannungsführend sind. Ausgehend von diesebzüglichen Darlegungen in [4] wird eine Näherungsgleichung als Zahlenwertgleichung angegeben, die eine genügend genaue Berechnung der Kapazität $C_{FL}$ ermöglicht. Wird davon ausgegangen, daß die mittlere Höhe des Kettenwerkes 6 m über der Erdoberfläche liegt, dann gilt

$$C_{FL}' = \frac{54\, a_L}{144 + a_{FL}^2 + a_L^2}, \qquad \frac{C_{FL}' \;\big|\; a_L,\ a_{FL}}{\frac{\text{nF}}{\text{km}} \;\big|\; m}. \tag{2}$$

Mit den angegebenen Gleichungen wurden die auf einer zu einer eingleisigen Fahrleitung parallel verlaufenden Freileitung durch kapazitive Aufladungen zu erwartenden Spannungen berechnet. Die Ergebnisse sind im Bild 4 zu sehen. Die influenzierte Spannung ist dabei, wie aus (1) ersichtlich, nicht von der Länge der Parallelführung abhängig.

Bei zweigleisigen Strecken sind die influenzierten Spannungen etwa um den Faktor 1,5 größer als die nach obigen Gleichungen zu erwartenden.

Gefährdung von Menschen ist zu erwarten, wenn die Durchströmung einen Wert von 15 mA (nach TGL 200-0605/02) überschreitet. Deshalb ist es wichtig zu wissen, welche Ströme durch kapazitiv aufgeladene Leitungen zu erwarten sind.

Die Größe des influenzierten Ladestromes ist dabei der Länge der Parallelführung proportional. Durch eine Fahrleitung wird in einer parallelen Leitung ein Ladestrom

$$I_L = C_{FL}\, U_F\, l\, r_S \tag{3}$$

influenziert.

In dieser Gleichung ist $r_S$ ein Schirmfaktor. Dieser Faktor gibt die den Ladestrom verringernde Wirkung von Gegenständen im elektrischen Feld zwischen beeinflussender und beeinflußter Leitung an. Er liegt z. B. zwischen 0,6 und 0,75, wenn sich geschlossene Baumreihen zwischen Fahrleitung und beeinflußter Leitung befinden.

Ein Beispiel veranschaulicht, daß die kapazitiven Ladeströme, die in parallel zu Fahrleitungsanlagen verlaufenden Freileitungen geringerer Länge influenziert werden, ungefährlich sind.

Man berechnet für den Ladestrom in einer im Abstand von 10 m und der Länge von 1,5 km zur zweigleisigen Bahnstrecke mit 15 kV Nennspannung parallelgeführten, in 6 m Höhe verlegten Freileitung, wenn sie nicht geerdet ist, einen Wert von 2,73 mA.

Wie man erkennt, liegt dieser Wert noch deutlich unter dem Sicherheitsgrenzwert von 6 mA nach TGL 200-0602/03.

### 2.2. Induktive Beeinflussung

Induktive Beeinflussung ist sowohl durch die Grundschwingung (16 2/3 Hz oder 50 Hz) als auch durch Oberschwingungen im Fahrleitungsnetz möglich. Eine ausführliche theoretische Betrachtung über die induktive Beeinflussung erfolgte z. B. in [4].

Ursache der induktiven Beeinflussung ist der in der Fahrleitung fließende Strom. Das durch diesen Strom aufgebaute Magnetfeld ist mit Leitungen und Anlagen im Bahnbereich verkettet. Dadurch werden Spannungen induziert, die Gefährdungen oder Störungen bewirken können.

Der grundsätzliche Verlauf von Fahrleitungs-, Gleis- und Erdstrom sowie der Gleispotentiale bei kleinem und großem Abstand eines Triebfahrzeuges vom Unterwerk ist im Bild 5 erkennbar. Wie in [4] im einzelnen erläutert, besteht sowohl der Gleisstrom als auch der Erdstrom jeweils aus einem konstanten, ortsunabhängigen Anteil als auch aus einem ortsabhängigen Anteil, dem sog. Übergangsstrom. Der ortsunabhängige Teil des Erdstromes entspricht dem abgeleiteten Strom. Die Übergangslänge liegt abhängig von der

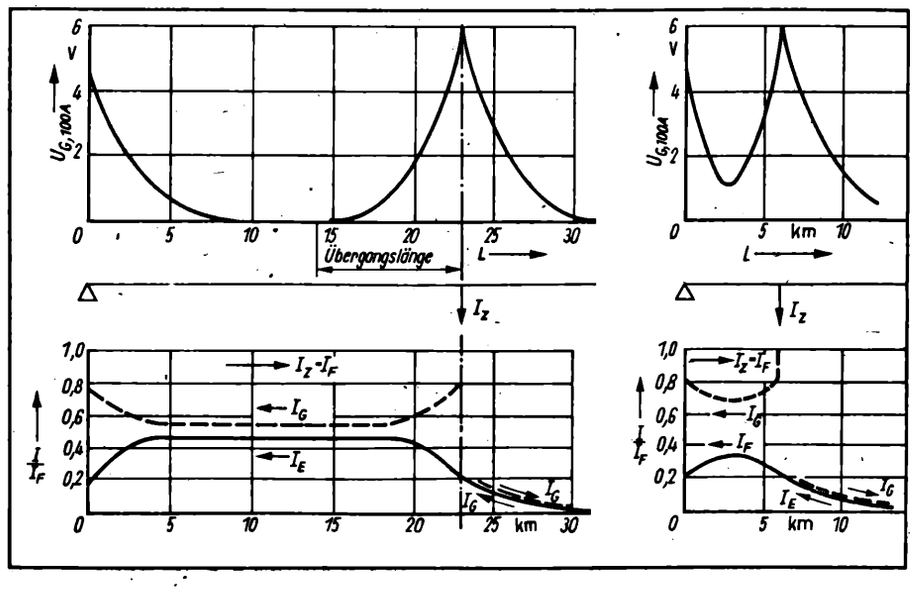



**Bild 5.** Gleis — Erde-Potential bei $I_Z = 100$ A, Fahrleitungs-, Gleis- und Erdströme bei Belastung durch einen Zug in großer und geringer Entfernung vom Unterwerk, einseitige Speisung, Erdimpedanz $U_{10} = 0{,}2\ \Omega$, Ableitung der Gleise 2 S/km, zweigleisige Strecke [1]

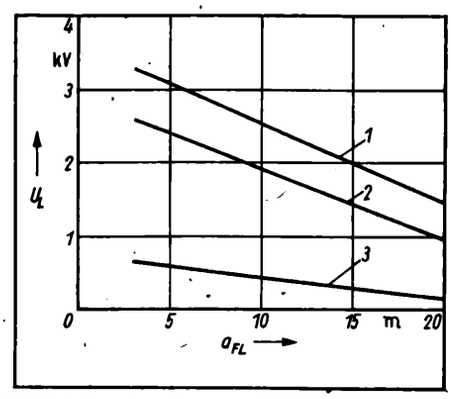



**Bild 4.** Influenzierte Spannung in einer Freileitung in Abhängigkeit von der Entfernung der Parallelführung bei einer Fahrleitungsspannung von 15 kV
**1** $a_L = 1$ m; **2** $a_L = 6$ m; **3** $a_L = 10$ m

kilometrischen Ableitung und der Schienenresistanz bei rund 5 bis 10 km.

Das Gleispotential senkrecht zum Gleis auf der Erdoberfläche klingt relativ schnell ab. Bild 6 zeigt den Verlauf dieses Potentials bezogen auf einen 100 m von den Schienen entfernten Erder, der das Erdpotential verkörpern soll. Wie man sieht, ist das Gleispotential bereits nach 10 m auf 0,2 gesunken.

Der Rückstromanteil selbst, der durch das Erdreich zurückfließt, ist in einem Halbkreis unterhalb der Schienen je nach Bodenleitfähigkeit bis zu mehreren Kilometern Radius entlang der Bahnstrecke infolge der induktiven und ohmschen Kopplung nachweisbar. Die Stromdichte ist dabei allerdings sehr klein. Bei einer Untersuchung [5] wurde rechnerisch und meßtechnisch nachgewiesen, daß in einem reichlich 400 m tiefen Stollen, der weitgehend parallel zu einer darüber befindlichen 50-Hz-Einphasenwechselstrombahn verläuft, infolge der induktiven Kopplung des Rückstromes in vorhandenen Leiterschleifen Spannungen in der Größenordnung von über 50 V induziert werden. Die Stromdichte des Erdstromes unter elektrischen Bahnstrecken mit $f = 16\,2/3$ Hz wird erst bei einem Radius von 1,61 m für einen Erdausbreitungswiderstand $\varrho_E = 100\ \Omega$m und bei einem Radius von 0,84 km für $\varrho_E = 27\ \Omega$m ($r = 2{,}33$ km; $\varrho_E = 210\ \Omega$m) im Erdreich praktisch gleich Null.

Die Berechnung von Gefährdungs- und Störspannungen erfolgt ausgehend von konkreten Werten zu erwartender Betriebs- und Kurzschlußströme.

Auf einem parallel zur Einphasenwechselstrombahnstrecke verlaufenden Leiter wird infolge der elektromagnetischen Kopplung eine Spannung induziert. Der Betrag dieser Spannung berechnet sich zu

$$u_{\mathrm{ind}} = C\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t} = M\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}; \qquad \omega M_{FL} I_F = U_{\mathrm{ind}}. \tag{4}$$

Bei Einphasenwechselstrombahnen fließt aber, wie aus Bild 5 erkennbar ist, in der Schleife Gleis — Erde ein Strom, der eine Spannung induziert, die der von dem Fahrleitungsstrom induzierten Spannung entgegen gerichtet ist. Diese reduzierende Wirkung der Gleise auf die Höhe der induzierten Spannung auf einer im Bahnbereich verlegten Leitung wird durch den Gleisreduktionsfaktor $r_G < 1$ berücksichtigt. Der Gleisreduktionsfaktor liegt zwischen 0,2 in Unterwerksnähe und etwa 0,45 bei zweigleisigen Strecken in Entfernungen über 2 km vom Unterwerk. Bei eingleisigen Strecken werden Werte von über 0,55 in Entfernungen größer als 2 km vom Unterwerk erreicht.

Wird die kilometrische Gegeninduktivität zwischen Fahrleitung und beeinflußter Leitung $M_{FL}'$ als Ausgangsgröße gewählt, so findet man die auf einer parallel zur Eisenbahnstrecke verlaufenden Freileitung oder Kabelader induzierte Spannung zu

$$U_{\mathrm{ind}} = \omega M_{FL}' I_F r_G l. \tag{5}$$

Eine maßgebende Größe für die induktive Beeinflussung ist neben der Länge der Parallelführung $l$ die Gegeninduktivität $M_{FL}'$.

Ausgehend von [6] findet man für die kilometrische Gegeninduktivität zweier Leiter-Erde-Schleifen eine einfach handhabbare Zahlenwertgleichung zum Ermitteln der Gegeninduktivität:

$$M_{FL}' = 0{,}1 + 0{,}2\ln\frac{1000}{a_{FL}\sqrt{\frac{\omega}{\varrho_E}}}. \tag{6}$$

| $M_{FL}'$ | $a_{FL}$ | $\omega$ | $\varrho_E$ |
|---|---|---|---|
| mH/km | m | $s^{-1}$ | $\Omega$m |

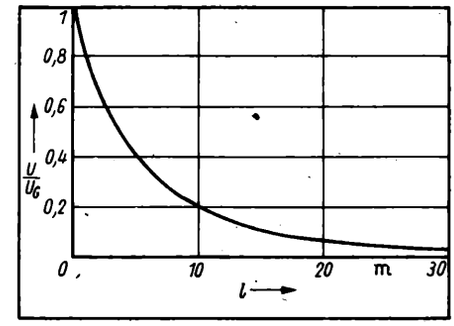
Wie man sieht, ist bei gegebener Frequenz und örtlichen Bedingungen, ausgedrückt durch den spezifischen Erdbodenwiderstand $\varrho_E$, die Gegeninduktivität zweier Leiter-Erde-Schleifen ausschließlich vom Abstand $a_{FL}$ dieser beiden Leiter voneinander abhängig.

Mit (6) wurden Spannungen berechnet, die in parallel zu einer 16 2/3-Hz-Einphasenwechselstrombahn verlaufenden Leitung induziert werden. Die im Bild 7 zu sehenden Ergebnisse sind auf 1 km Parallelführung und 100 A Belastungsstrom der Fahrleitung bezogen. Gleichzeitig sind Meßwerte in diesem Bild mit aufgeführt. Die größeren Meßwerte bei kleinem Abstand erklären sich daraus, daß die Messungen an Freileitungen in 6 m bzw. 8 m Höhe über Erdoberfläche durchgeführt wurden. Dabei wird bei kleinem Abstand die reduzierende Wirkung der Gleise kleiner.

### 2.3. Ohmsche Beeinflussung

Leitungen und Anlagen im Bahnbereich sind durch galvanische oder ohmsche Kopplung über das Erdreich oder durch metallische Verbindung mit Teilen der Strombahn (Fahrschienen) von Einphasenwechselstrombahnen verbunden. Beeinflussender und beeinflußter Stromkreis haben mithin Teile von Strombahnen gemeinsam.

**Bild 6**
Verlauf des Gleispotentials senkrecht zur Gleisachse bezogen auf einen 100 m entfernten Erder



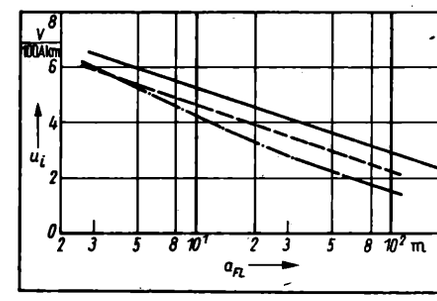




**Bild 7.** Induzierte Längsspannung in einer parallelgeführten Freileitung je 100 A Fahrleitungsstrom und 1 km Parallelführung bei
- - - - - Rechenwerte bei 27 Ωm
—·—·— Meßwerte bei 27 Ωm △ 370 S/m
——— Meßwerte bei 11 Ωm △ 910 S/m

In metallenen Kabelmänteln von Kabeln und in Rohrleitungen, die im Erdreich parallel zur Bahnstrecke verlegt sind, wird bei entsprechend kleinem Übergangswiderstand stets auch neben dem induzierten Strom ein Strom fließen, der durch die ohmsche Kopplung mit der Gleis- und Rückleitungsanlage bedingt ist.

Um eine Gefährdung auszuschließen, wird deshalb insbesondere im Rißbereich der Oberleitung (Bild 8) ein Potentialausgleich durch Einbeziehen aller Metallteile in die Schutzmaßnahme Bahnerdung hergestellt. In TGL 200-0632/03 heißt es dazu, daß im Oberleitungsrißbereich alle metallenen Teile, die von einem gerissenen Fahrdraht berührt werden können, sowie alle metallenen Anlagen der Fahrleitungsanlage, an denen durch Fehler der Isolierung unzulässige Berührungsspannungen auftreten können, in die Schutzmaßnahme Bahnerdung einzubeziehen sind. Die Bahnerdung als spezielle Form der Schutzerdung nach TGL 200-0602/03 ist eine Schutzmaßnahme gegen gefährliche Durchströmung, bei der die Gleisanlage als Schutzerder benutzt wird [7].

Aus den genannten Gründen sind die Fahrleitungsmaste durch Verbinden mit Fahrschienen in die Schutzmaßnahme Bahnerdung einbezogen. Dadurch wird die Ableitung der Gleise verringert. Beträgt z.B. der Ausbreitungswiderstand eines auf Betonschwellen verlegten Gleises 0,5 Ωkm (entspricht 2 S/km), so wird er bei einem mittleren Ausbreitungswiderstand eines Mastes von 20 Ω [8] und bei 15 Masten je km wie folgt verringert:

Für den Ausbreitungswiderstand der Maste je Kilometer Gleis findet man

$$\frac{20\ \Omega\ \text{Mast km}}{15\ \text{Maste}} = 1{,}33\ \Omega\text{km}.$$

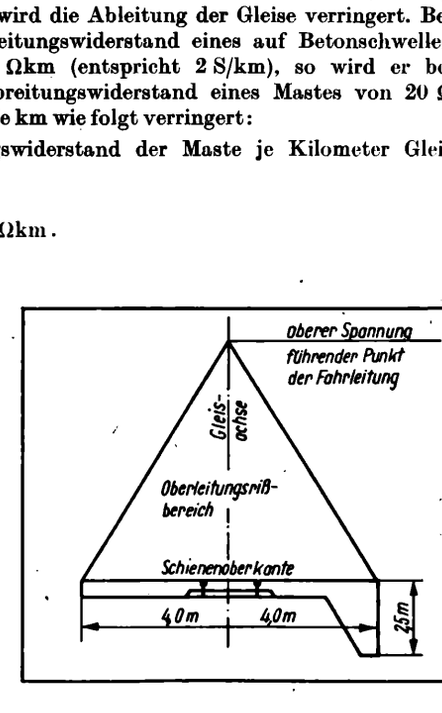



**Bild 8**
Oberleitungsrißbereich nach TGL 200-0632/03

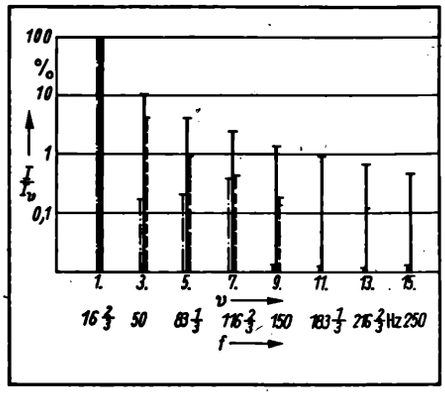



**Bild 9.** Oberschwingungsanteile von Belastungsströmen elektrischer Triebfahrzeuge [1] [7]
— · — · DAT-Lokomotive nach [2]
——— Thyristortriebfahrzeug (BR 280)
- - - - - Lokomotive mit Einphasenwechselstrom — Reihenschlußmotoren (BR 211/242)

Aus der Parallelschaltung dieser Maste mit dem Gleis folgt für den gesamten Ausbreitungswiderstand

$$\frac{0{,}5\ \Omega\text{km} \cdot 1{,}33\ \Omega\text{km}}{0{,}5\ \Omega\text{km} + 1{,}33\ \Omega\text{km}} = 0{,}364\ \Omega\text{km}.$$

Wie man sieht, steigt dabei die kilometrische Ableitung eines Gleises von 2 S/km auf 2,75 S/km.
Der Mastausbreitungswiderstand bewegt sich bei dem angegebenen Mittelwert im Bereich der Strecken der DR je nach Bodenleitfähigkeit und Bodenfeuchtigkeit zwischen etwa 7 Ω und 60 Ω. Diese Aussage gilt nur für Stahlmaste bzw. Betonmaste mit Fundamenterderwirkung. Betonmaste, bei denen die Stahlbewehrung nicht in die Erdung einbezogen ist, haben Ausbrechungswiderstände bis in den kΩ-Bereich [8].
Werden Kabelmäntel, Nulleiter oder andere metallene Anlagen oder Leitungen im Oberleitungsrißbereich mit den Schienen verbunden, so wird ein, wenn auch geringer Teil des Gleisrückstromes auch durch diese parallelverlegten metallenen Anlagen fließen. Bei großen parallelen Querschnitten ist dabei im Detail zu prüfen, ob unzulässige Belastungen oder Spannungen im ungestörten oder gestörten Betriebsfall auftreten können (z.B. Belastung von Nullleitern oder Bewehrungen von Kabelmänteln, Ferngasleitungen usw.).

### 2.4. Oberschwingungsbeeinflussung

Die Ursache für die induktive (und auch ohmsche) Oberschwingungsbeeinflussung ist vor allem in der Art und Weise der Leistungssteuerung der elektrischen Triebfahrzeuge begründet.
Bei der herkömmlichen Steuerung mit Stufenschaltwerk sind Oberschwingungen zu erwarten, die ihre Ursachen u.a. in Sättigungserscheinungen von Lokomotivtransformatoren und Fahrmotoren sowie in Nutoberschwingungen von Fahrmotoren haben. Im Bild 9 sind derartige bei der DR gemessene Werte zu sehen.
Bei Brückenschaltungen auf elektrischen Triebfahrzeugen gibt es eine große Vielzahl von Varianten. Am häufigsten werden bei 50-Hz-Einphasenwechselstrombahnen Gleichrichterlokomotiven eingesetzt. Wichtige Steuerart ist die Phasenanschnittsteuerung auf Thyristorbasis, die bei Einführung der Thyristortechnik zur Anwendung kam. Die häufig verwendete halbgesteuerte Brücke kann dabei symmetrisch oder unsymmetrisch ausgeführt werden. Im Bild 9 ist auch das Oberschwingungsspektrum einer halbgesteuerten unsymmetrischen Brückenschaltung, wie sie bei der BR 280 angewendet wurde, zu sehen.
Löschbare Brückenschaltungen, meist unsymmetrisch (LuB), wurden bei der DR nicht angewendet.
Auch wegen der beachtlichen Netzrückwirkungen von Thyristor-Brückensteuerungen wird seit einigen Jahren in mehreren Ländern mit Erfolg an der Drehstromantriebstechnik gearbeitet.
Bei der Drehstromantriebstechnik [2] auf 16 2/3-Hz-Einphasenwechselstrombahnen werden sowohl strom- als auch spannungsgeführte Wechselrichter eingesetzt. Bei der DB wird der spannungsgeführte Wechselrichter bei der BR 120 verwendet. Der Oberschwingungsanteil im Fahrleitungsstrom erreicht dabei den sehr niedrigen Wert von 0,01.

# Zur Stromabhängigkeit von Beeinflussungsmessungen

**H. Koch, KTD, Berlin**

Der meßtechnischen Feststellung einer speziellen lokalen Beeinflussungssituation ist gegenüber der Berechnung der Vorrang einzuräumen. Bei der Berechnung können für einzelne Parameter nur angenommene Werte vorgegeben werden. Aber auch die Messung kann zu fehlerbehafteten Aussagen führen, wenn die mit niedrigen Beeinflussungsströmen ermittelten Werte linear für andere Ströme umgerechnet werden. Dabei ist vielmehr zu beachten, daß nicht nur der Kabelreduktionsfaktor, sondern auch die Reduktionswirkung anderer Leiter-Erde-Kreise feldstärkeabhängig ist, wenn die Impedanz der Leiter stromabhängig ist.

## 1. Grundparameter der induktiven Beeinflussung

Für die elektrische Beeinflussung drahtgebundener Informationsanlagen und Rohrleitungen ist die induktive Beeinflussung von wesentlicher Bedeutung. Die Dichte des Hochspannungsnetzes und der elektrifizierten Eisenbahnstrecken sowie die auftretenden Beeinflussungsbedingungen sind Ursachen dafür, daß ein hoher Anteil der o.g. ausgedehnten elektrisch leitenden Leiter-Kreise der induktiven Beeinflussung ausgesetzt sind.
Entsprechend den Induktionsgesetzen ist die induktive Beeinflussung in ihrer Intensität von folgenden Parametern abhängig:
— Frequenz des beeinflussenden Stromes
— Amplitude des beeinflussenden Stromes
— Gegeninduktivität zwischen beeinflussender und beeinflußter Anlage
— Reduktionswirkung von Leiter-Erde-Kreisen, die sich im Koppelbereich befinden
— Übertragungstechnische Parameter ($\underline{Z}_w, \gamma$) des beeinflußten Leiter-Erde-Kreises.

Für die Beeinflussung von Informationsleitungen kann davon ausgegangen werden, daß die einzelnen Adern gegen Erde gut isoliert sind, d.h. eine äußerst geringe bzw. zu vernachlässigende Ableitung aufweisen. Damit ist die Längsspannung als Gefährdungsspannung für Personen und Anlagen wirksam. Sie ist nach folgender Gesetzmäßigkeit zu berechnen [1]:

$$U_L = -\mathrm{j}\,2\pi f \underline{I}_B \underline{M}_{BL}' r\, l. \qquad (1)$$

Dabei ist vorausgesetzt, daß Quelle und Senke von beeinflussendem und beeinflußtem Leiter-Erde-Kreis galvanisch nicht verkoppelt sind, d.h. die Potentialtrichter sich nicht überlagern. $\underline{M}_{ik}'$ ist die Gegeninduktivität je km zwischen zwei Leiter-Erde-Kreisen und ist abhängig von der vorhandenen spezifischen Bodenleitfähigkeit $\varkappa_0$, der Frequenz und dem Abstand der beiden parallelen Leiter-

Dr.-Ing. *Heinz Koch* ist Leiter des Wissenschaftsbereichs Beeinflussungsschutz im Zentrum für Informations- und Betriebsleittechnik des Wissenschaftlich-technischen Zentrums der Deutschen Reichsbahn.

### Literatur

[1] *Schmidt, P.:* Elektroenergieversorgung elektrischer Bahnen. Berlin: transpress-Verlag (in Vorbereitung 1988)
[2] *Bethge, W.:* Die Lokomotivbaureihe 120 — Beeinflussungsuntersuchungen bezüglich der Fernmelde- und Sicherungsanlagen. Elektrische Bahnen, München 81 (1983) 7, S. 216–226
[3] *Hofmann, F.:* Die elektrische Bahnstrecke als System von zwei gekoppelten Leitungen. Elektrische Bahnen, München 36 (1954) 4, S. 97–102; 5, S. 114–118
[4] VEM-Handbuch: Energieversorgung elektrischer Bahnen. Berlin: VEB Verlag Technik 1975
[5] *Schaller, K.-P.:* Untersuchung über das Verhalten der Rückströme im Erdreich bei Einphasenwechselstrombahnen. Diplomarbeit 1965. HfV Dresden, WB Elektrische Bahnen
[6] *Bethge, W.; Dorendorf, K.:* Der Kompensationsleiter — eine Alternative zur Lösung elektrischer Beeinflussungsprobleme. Elektrische Bahnen, München 81 (1983) 6, S. 188–196
[7] *Schmidt, P.; Hellige, B.:* Probleme der Erdung bei elektrischen Bahnen. Der Elektro-Praktiker, Berlin 30 (1976) 4, S. 114–118
[8] *Zimmert, G.:* Lösungsvarianten zur Erdung von Fahrleitungsmasten und zum Einsatz eines modernen, zuverlässigen Fahrleitungsschutzes für 16 2/3-Hz-Einphasenwechselstrombahnen. Dissertation B, 1981, HfV Dresden

EA 5870

Erde-Kreise. Die spezifische Bodenleitfähigkeit wird meßtechnisch ermittelt. Dazu werden in einem von Rohrleitungen, Hochspannungsleitungen u. a. Leiter-Erde-Kreisen freien Gebiet, das in der Struktur der tiefen Erdschichten dem zu betrachtendem Beeinflussungsbereich entspricht, zwei Leiter-Erde-Kreise ausgelegt und aus der gemessenen Verkopplung die spezifische Bodenleitfähigkeit für die jeweilige Frequenz bestimmt.
Mit $r$ ist die Gesamtreduktionswirkung aller im Koppelbereich vorhandenen Leiter-Erde-Kreise ausgedrückt. Das können im einzelnen Kabelhüllen, Erdseile auf Hochspannungsmasten, das Schienennetz bei Eisenbahnstrecken und Rohrleitungen für Gas, Öl, Wasser, Abwasser u. a., soweit sie in ihrer Gesamtheit elektrisch leitend sind, sein.

## 2. Reduktionswirkung von Leiter-Erde-Kreisen

Die Reduktionswirkung von Leiter-Erde-Kreisen ist dadurch gekennzeichnet, daß das induzierende Feld in dem Leiter dieses Kreises eine Spannung induziert, die in dem Leiter-Erde-Kreis einen Strom antreibt. Dieser Strom induziert wiederum in dem betrachteten beeinflußten Leiter eine Spannung, die entsprechend den Phasenbeziehungen zur direkt induzierten Spannung nahe der Phasenopposition liegt und so reduzierend wirkt. Maßgebend für den Grad der Reduktionswirkung ist die Gegeninduktivität zwischen beeinflussendem und Reduktionsleiter $\underline{M}_{BR}'$ und zwischen Reduktionsleiter und beeinflußtem Leiter $M_{RL}'$ sowie der im Reduktionsleiter über den Erde-Kreis auftretende Strom $\underline{I}_{RO}$. Dieser Strom ist neben der Beeinflussungsintensität auch von der Impedanz des Leiter-Erde-Kreises abhängig.
Wenn der reduzierend wirkende Stromkreis nicht speziell als Kompensationsleiter im Sinne der Verringerung der Beeinflussung gelegt ist, kann davon ausgegangen werden, daß der Leiter mit einer Ableitung gegen Erde behaftet ist. Wenn $l$ die Gesamtlänge der Beeinflussung ist und der Reduktionsstromkreis sich noch darüber hinaus ausdehnt, ist der im reduzierend wirkende Leiter auftretende Strom wie folgt zu berechnen:

$$\underline{I}_R(x) = -\mathrm{j}\,2\,\pi f\,\underline{I}_B\,\underline{M}_{BR}'\,\frac{1-0{,}5\,(\mathrm{e}^{\gamma_{RO}\,(x-l)}+\mathrm{e}^{-\gamma_{RO}\,x})}{\underline{Z}_{RO}'}, \tag{12}$$

wobei $Z_{RO}'$ der kilometrische Widerstand des Leiter-Erde-Kreises und $\gamma_{RO}$ die Fortpflanzungskonstante dieses Kreises ist.
Allgemein kann davon ausgegangen werden, daß die Erdfühligkeit des Leiters relativ gut und die Länge des Beeinflussungsabschnittes so lang ist, daß $\gamma_{RO}\,(x-l)$ bzw. $\gamma_{RO}\,x$ hinreichend groß sind, womit $\exp[-\gamma_{RO}\,(x-l)]$ bzw. $\exp[-\gamma_{RO}\,x]$ gegen „Null" gehen.
Damit ergibt sich für den reduzierenden Strom

$$\underline{I}_R = -\mathrm{j}\,2\,\pi f\,\underline{I}_B\,\underline{M}_{BR}'\,\underline{Z}_{RO}'^{-1}. \tag{3}$$

Es kann hier als bekannt vorausgesetzt werden, daß der Reduktionsfaktor einer Kabelhülle eine Feldstärkeabhängigkeit aufweist. Diese Bedingungen sind im Standard TGL 200-0605 ausgewiesen. Aber auch andere Reduktionsfaktoren sind mit einer Stromabhängigkeit behaftet.
Der Reduktionsfaktor ergibt sich aus der Relation der induzierten Spannungen mit und ohne Reduktionsleiter

$$r_R = \left|\frac{\underline{U}_{LBL}' + \underline{U}_{LRL}'}{\underline{U}_{LBL}'}\right| = \left|1 + \frac{\underline{U}_{LRL}'}{\underline{U}_{LBL}'}\right| = \left|1 + \frac{\underline{I}_R\,\underline{M}_{RL}'}{\underline{I}_B\,\underline{M}_{BL}'}\right|, \tag{4}$$

$$r_R = \left|1 - \mathrm{j}\,2\,\pi f\,\frac{\underline{M}_{BR}'\,\underline{M}_{RL}'}{\underline{M}_{BL}'\,\underline{Z}_{RO}'}\right|. \tag{5}$$

Die Reduktionswirkung ist um so besser, je näher die reduzierende Leitung der beeinflussenden oder beeinflußten Leitung liegt, da dann $\underline{M}_{RL}' = \underline{M}_{BL}'$ bzw. $\underline{M}_{BR}' = \underline{M}_{BL}'$ wird.

$$r_R = \left|1 - \mathrm{j}\,2\,\pi f\left|\frac{\underline{M}_{BR}'}{\underline{Z}_{RO}'}\right|\right. \quad \text{bzw.} \quad r_R = \left|1 - \mathrm{j}\,2\,\pi f\,\frac{\underline{M}_{RL}'}{\underline{Z}_{RO}'}\right| \tag{6}$$

In jedem Fall bleibt der Einfluß des kilometrischen Widerstandes des Leiter-Erde-Kreises $\underline{Z}_{RO}'$ erhalten, der als einziger Parameter in diesen Beziehungen stromabhängig sein kann. Diese Stromabhängigkeit zeigt sich insbesondere, wenn der Leiter des reduzierend wirkenden Leiter-Erde-Kreises mit magnetischen Werkstoffen behaftet ist, was z. B. bei metallenen Rohrleitungen und bei Eisenbahngleisen zutrifft.
Der Widerstand eines Leiter-Erde-Kreises ergibt sich aus der Reihenschaltung folgender Komponenten:

— Wirkwiderstand des Leiters
— Wirkwiderstand der Erde als Rückleitung
— innere Induktivität des Leiter-Erde-Kreises
— äußere Induktivität des Leiter-Erde-Kreises.

Der Wirkwiderstand des Leiters und der Leiteranteil an der inneren Induktivität des Leiter-Erde-Kreises sind durch den Leiter selbst bestimmt. Für kreisförmige Leiter sind die Formeln als bekannt anzunehmen.
Der Wirkwiderstand der Erdrückleitung wird nach [2] mit

$$R_0' = \frac{\pi}{2}\,\omega\,10^{-4} = f\,\pi^2\,10^{-4} \approx f\cdot 10^{-3}\ \Omega\mathrm{km}^{-1} \tag{7.1}$$

und der induktive Anteil der Erdrückleitung mit

$$\mathrm{j}\,\omega\,L_0' = \mathrm{j}\,2\,\pi f\,10^{-4}\ \Omega\mathrm{km}^{-1} \tag{7.2}$$

eingesetzt. Der äußere induktive Widerstand des Leiter-Erde-Kreises wird nach *Pollaczek* [2] mit der Näherungsgleichung

$$2\,\underline{Z}_{Lio}' = \mathrm{j}\,2\,\omega\,L_{io}' = \mathrm{j}\,2\,\omega\,10^{-4}\ln\frac{10^7}{1{,}78\,r_i\sqrt{10\,\pi\,\omega\,\varkappa_0}} \tag{8}$$

eingesetzt ($r_i$ Radius des Leiters in mm). Der kilometrische Widerstand eines Leiter-Erde-Kreises ist damit wie folgt zu beschreiben:

$$\underline{Z}_{io}' = \underline{Z}_i' + \mathrm{j}\,\omega\left(1 + 2\ln\frac{10^7}{1{,}78\,r_i\sqrt{10\,\pi\,\omega\,\varkappa_0}} - \mathrm{j}\,\frac{\pi}{2}\right)10^{-4}. \tag{9}$$

Die kilometrische Gegeninduktivität zwischen zwei Leiter-Erde-Kreisen ist nach [2] mit

$$\underline{M}_{ik}' = \left[1 + 2\ln\frac{10^7}{1{,}78\,a_{ik}\sqrt{10\,\pi\,\omega\,\varkappa_0}} - \mathrm{j}\,\frac{\pi}{2}\right]10^{-4} \tag{10}$$

in $H\ \mathrm{km}^{-1}$ definiert, wenn $a_{ik}$ (Abstand) in mm eingesetzt wird und $a_{ik}\,10^{-3}\sqrt{2\pi f\,\mu_0\,\varkappa_0} = x_{ik} < 0{,}1$ mit $\mu_0 = 1{,}256\cdot 10^{-6}\ \mathrm{Hm}^{-1}$ erfüllt ist.
Aus dem Vergleich von (9) und (10) ergibt sich

$$\frac{\underline{Z}_0' + 2\,\underline{Z}_{Lio}'}{\mathrm{j}\,2\,\pi f} \triangleq \underline{M}_{ik}', \quad \text{wenn} \quad r_i = a_{ik}.$$

Für die Werte von $x_{io}$ bzw. $x_{ik} \geqq 0{,}1$ ist in [4] eine Tabelle ausgewiesen, deren Aussage für $x_{ik} < 2$ wie folgt zu beschreiben ist ($\underline{M}_{ik}'$ jeweils in $\mathrm{H\ km}^{-1}$)

$$0{,}4 < x_{ik} < 2$$

$$\underline{M}_{ik}' = [472{,}8\exp(-1{,}193\,x_{ik}) + \mathrm{j}\,(43{,}25\,x_{ik} - 165{,}2)]\,10^{-6} \tag{11.1}$$

$$0{,}1 < x_{ik} \leqq 0{,}4,$$

$$\underline{M}_{ik}' = [100\,(1 + 2\ln 1{,}123\,x_{ik}^{-1}) + \mathrm{j}\,(27{,}67\,x_{ik} - 153{,}97)\,10^{-6} \tag{11.2}$$

$$x_{ik} \leqq 0{,}1,$$

$$\underline{M}_{ik}' = [100\,(1 + 2\ln 1{,}123\,x_{ik}^{-1}) - \mathrm{j}\,157]\,10^{-6}. \tag{11.3}$$

## 3. Reduktionsfaktor von Eisenbahngleisen

In Anwendung der im Abschn. 2. entwickelten Abhängigkeiten für die Reduktionswirkung von Leiter-Erde-Kreisen z. B. auf Eisenbahngleisanlagen ergibt sich als Voraussetzung die Darstellung der kilometrischen Impedanz der Schiene in ihrer Frequenz- und Stromabhängigkeit.
In bezug auf die Beschreibung der Impedanz der Schiene erweisen sich die allgemeinen Formeln für die Berechnung von Leiterimpedanzen wegen des nicht kreisrunden Querschnittes der Schienen als ungeeignet. Die in der Literatur zu findenden Aussagen beruhen sämtlich auf speziell durchgeführten Messungen [3] [5].
Die Schienenimpedanz läßt sich wie folgt beschreiben [6]:

$$\underline{Z}_S' = \frac{0{,}446}{r_S}\sqrt{\mu_r\,\varrho f} + \mathrm{j}\,2{,}7\,10^{-3}\sqrt[4]{f^3\,(\mu_r - 6)}. \tag{12}$$

Für $r_S$ ist hier ein äquivalenter Radius einzusetzen, der sich für die bei der DR üblichen Schienenprofile mit $R\,50 = 98{,}7$ mm und $R\,65 = 111{,}4$ mm ergibt. Für den spezifischen Widerstand wird $\varrho = 0{,}24\ \Omega\mathrm{mm}^2\,\mathrm{m}^{-1}$ eingesetzt. Die stromabhängige Komponente ist $\mu_r$. Dabei ist die Stromdichte jeweils auf das Bezugsprofil $R\,50$ umzurechnen:

$$I_S^* = I_S\,98{,}7\,r_S^{-1}. \tag{13.1}$$

Der Verlauf von $\mu_r = f(I_S^*)$ ist wie folgt:

$$I_S^* \geqq 2000\ \text{A} \qquad \mu_r = 294 - 8 \cdot 10^{-3} I_S^*, \tag{13.2}$$

$$1600\ \text{A} \leqq I_S^* < 2000\ \text{A} \qquad \mu_r = 325 - 23{,}6 \cdot 10^{-3} I_S^*, \tag{13.3}$$

$$100\ \text{A} \leqq I_S^* < 1600\ \text{A} \qquad \mu_r = 0{,}31 \exp(1{,}2 \ln I_S^* - 1{,}26 \cdot 10^{-3} I_S^*) \tag{13.4}$$

$$I_S^* < 100\ \text{A} \qquad \mu_r = 60 + 0{,}1\, I_S^*. \tag{13.5}$$

Die Berechnung der kilometrischen Längsimpedanzen von Leiter-Erde-Kreisen für eine Schiene (SO), ein Gleis (GO) und zwei Gleise (ZGO) ergibt sich nach folgenden Beziehungen:

$$\underline{Z}_{SO'} = \underline{Z}_{S'} + \mathrm{j}\, 2\pi f \underline{M}_{SO'} \qquad \underline{M}_{SO'} = f(r_S), \tag{14.1}$$

$$\underline{Z}_{GO'} = \frac{1}{2}(\underline{Z}_{SO'} + \mathrm{j}\, 2\pi f \underline{M}_{SS'}) \qquad \underline{M}_{SS'} = f(a_{SS} = 1435\ \text{mm}), \tag{14.2}$$

$$\underline{Z}_{ZGO'} = \frac{1}{2}(\underline{Z}_{GO'} + \mathrm{j}\, 2\pi f \underline{M}_{GG'} \qquad \underline{M}_{GG'} = f(a_{GG} = 4100\ \text{mm}). \tag{14.3}$$

Dabei ist für die Parallelschaltung von zwei gleichen Leiter-Erde-Kreisen folgende Vereinfachung gegeben:

$$\underline{Z}_{Mik'} = \mathrm{j}\,\omega \underline{M}_{ik'} \longrightarrow \underline{Z}_{iko'} = \frac{\underline{Z}_{io'}\underline{Z}_{ko'} - \underline{Z}^2_{Mik'}}{\underline{Z}_{io'} + \underline{Z}_{ko'} - 2\underline{Z}_{Mik'}},$$

für $\underline{Z}_{io'} = \underline{Z}_{ko'}$ wird $\underline{Z}_{iko'} = \frac{1}{2}(\underline{Z}_{io'} + \underline{Z}_{Mik'})$.

Die auf dieser Grundlage ermittelten kilometrischen Längsimpedanzen von Schiene-Erde-Kreisen für 16 2/3 Hz in ihrer Abhängigkeit von den in Mitteleuropa anzutreffenden Werten der spezifischen Bodenleitfähigkeit und dem Schienenstrom für die 50-kg/m-Schiene sind im Bild 1 dargestellt.

Für eine mittlere spezifische Bodenleitfähigkeit ergibt sich die Reduktionswirkung der Schienen einer zweigleisigen mit 16 2/3 Hz/15 kV elektrifizierten Eisenbahnstrecke in Abhängigkeit von Fahrleitungsstrom $I_B$ entsprechend Bild 2. Die nach (5) für die verschiedenen Abstände der Trasse des Informationskabels zur Mitte des kabelnahen Gleises berechneten Werte zeigen, daß bei simulierten Beeinflussungsmessungen mit geringen Strömen an zweigleisigen Eisenbahnstrecken eine lineare Hochrechnung auf höhere Beeinflussungsströme mit Fehlern bis zu 35 % belegt ist. Der Fehler wirkt sich zur gefährdenden Seite aus, da sie Reduktionswirkung der Gleise mit zunehmendem Strom geringer wird. Diese Aussagen beziehen sich auf Gleisanlagen von Wechselstrombahnen, bei denen über die Masterden eine gute Erdfühligkeit der Gleise gesichert ist. Für Gleisanlagen ohne die Wirkung der Erdübergangswiderstände der Fahrleitungsmaste ist die Reduktionswirkung der Gleise wegen des witterungsbedingten Schwankungsbereichs des Erdableitungswiderstandes der Gleise nicht gewährleistet.

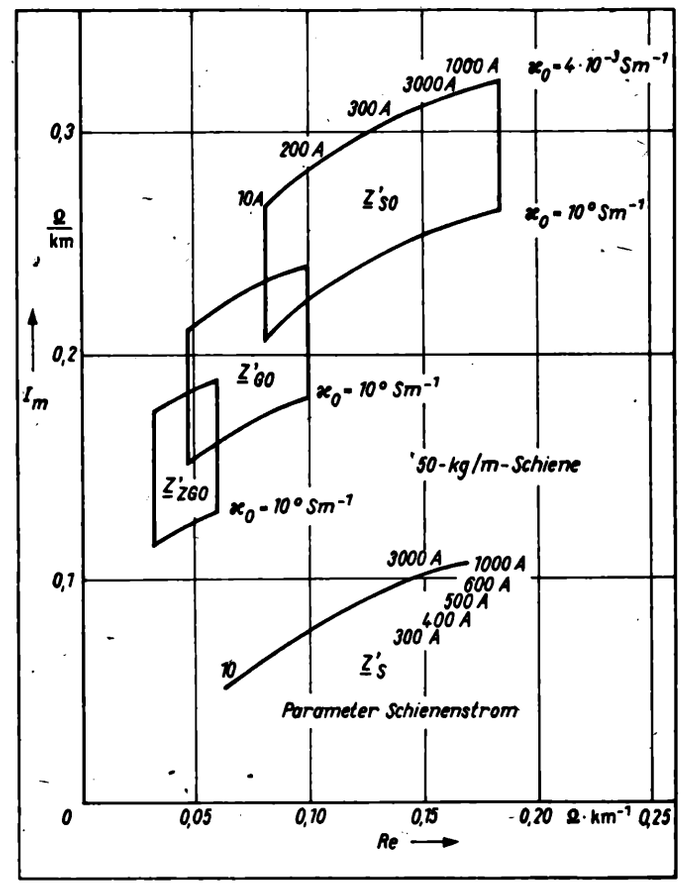



**Bild 1.** Längsimpedanz je Kilometer von Schiene-Erde-Kreisen für 16 2/3 Hz

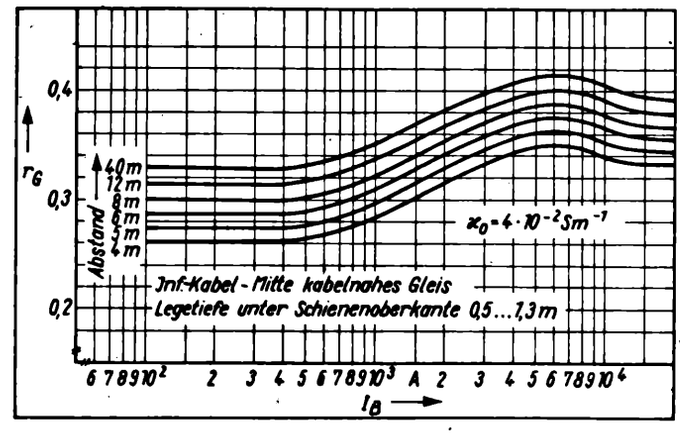



**Bild 2.** Gleisreduktionsfaktor zweigleisiger Eisenbahnstrecken mit Regelfahrleitung einzeln gespeist ohne Verstärkungsleitung $r_G = f(I_S\, a)$

## 4. Schlußbemerkungen

Die Ergebnisse von Beeinflussungsmessungen mit nicht realen Beeinflussungsströmen sind immer dann fehlerbehaftet, wenn sich im Beeinflussungsbereich weitere reduzierend wirkende Leiter-Erde-Kreise befinden, deren Impedanz stromabhängig ist. Für die Reduktionswirkung von Gleisanlagen elektrifizierter Eisenbahnstrecken ist deren Stromabhängigkeit mit der Einbeziehung der sich stromabhängig ändernden Schienenlängsimpedanz auch quantitativ nachgewiesen. Die Reduktionswirkung von Rohrleitungen mit kleinem Durchmesser insbesondere in städtischen Gebieten ist wesentlich schwerer zu berechnen, da u. a. auch keine stete Parallelführung im gleichen Abstand gegeben ist. Ebenfalls ist zu berücksichtigen, daß Rohrleitungen mit kleinem Durchmesser bei relativ kleinen Strömen bereits magnetische Sättigungserscheinungen zeigen. Es ist daher im Interesse der Vermeidung einer fehlerhaften Aussage angeraten, insbesondere bei Vorhandensein von reduzierend wirkenden Leiter-Erde-Kreisen, Beeinflussungsmessungen mit dem real auftretenden Beeinflussungsstrom auszuführen, wenn nicht wie bei Gleisanlagen von Wechselstrombahnen entsprechende Korrekturwerte berechnet werden können.

### Literatur


[1] TGL 200-0605/3. Kreuzungen und Näherungen zwischen Informations- und Starkstromanlagen. Ausg. 1973

[2] *Pollaczek, F.:* Über die Induktionswirkung einer Wechselstromeinfachleitung. Elektrische Nachrichtentechnik (1927) 1, S. 18–30

[3] Forschungs- und Versuchsamt des internationalen Eisenbahnverbandes. Bericht ORE DT 53 (A 122). Bestimmung der elektrischen Gleisparameter in Abhängigkeit von der Frequenz und den vormagnetisierenden Strömen. Utrecht, November 1976

[4] Richtlinien für den Schutz von Fernmeldelinien gegen schädliche Auswirkungen elektrischer Linien (englisch). CCITT-Directives, Genf 1963

[5] *Pettersson, G. A.; Svenson, S.:* Störungskompensation durch Gleise, Rückleiter und Saugtransformatoren an elektrischen Bahnen (schwedisch). Tele (1961) 2, S. 61–92

[6] *Koch, H.:* Ein Beitrag zur Gewährleistung der elektromagnetischen Verträglichkeit von Anlagen der Sicherungs- und Fernmeldetechnik mit eisenbahntypischen elektrischen Systemen hoher Leistung. Dissertation A, Hochschule für Verkehrswesen 1987


EA 5871

# Geräuschstörungen in Fernsprechanlagen durch Straßenbahnen

**W. Weigt, KDT, Berlin**

## 1. Problem

In zunehmendem Maße klagen Benutzer von öffentlichen und Betreiber von teilnehmereigenen Fernsprechanlagen über auf- und abschwellendes Brummen auf Fernsprechverbindungen. Bei der Analyse derartiger Beschwerden und ersten meßtechnischen Überprüfungen dieser Störungserscheinung wurde festgestellt, daß es sich um Geräusche durch Straßenbahnen handelt. Für das Errichten und Betreiben von Fernmelde- und Straßenbahnanlagen sind staatliche Standards, Richtlinien und Empfehlungen vorhanden, die in bezug auf die möglichen Kollisionspunkte zwischen beiden außer Abstandsregelungen zur Vermeidung direkter Berührung kaum Aussagen zu elektromagnetischer Beeinflussung enthalten. Für das Errichten von Straßenbahn-Energieversorgungsanlagen wird in der DDR die Anwendung der Richtlinie nach [1] empfohlen. Zulässige oder maximale Störpegel (Amplituden, Frequenzspektren), die von Straßenbahnen an die Umgebung abgegeben werden dürfen bzw. abgegeben werden, sind darin nicht angegeben. Auf dem Gebiet der Starkstrombeeinflussung sind mit [2] und [3] Standards vorhanden, die zu berücksichtigende Beeinflussungsfälle zwischen Fernmelde- und Starkstromanlagen ausweisen, die für Fernmeldeanlagen höchstzulässige Beeinflussungswerte vorschreiben und die Methoden zur rechnerischen oder meßtechnischen Ermittlung von Geräuschstörungen anbieten. Unabhängig von den technischen Vorschriften ist in der DDR der Schutz der Fernmeldeanlagen gegen Beeinflussungen in [4] juristisch geregelt. Danach ist im Beeinflussungsfall nach wirtschaftlichen Gründen zu entscheiden, ob die Maßnahmen zum Schutz der Fernmeldeanlage an der gestörten oder der störenden Anlage durchzuführen sind. Dort ist auch festgelegt, wer die Kosten für Schutzmaßnahmen zu tragen hat.

Geräuschestörungen sind elektromagnetische Beeinflussungen und sind im Sinne der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMC electromagnetic compatibility [5]) entsprechend den Erfordernissen auf ein zulässiges Maß einzuschränken. Dabei muß davon ausgegangen werden, daß die Fernmeldeanlage und die Straßenbahn jede für sich einen erheblichen wirtschaftlichen Faktor darstellen und weder bei der einen noch bei der anderen ein Verzicht oder eine Einschränkung des Betriebes in Frage kommt.

Aus der dargelegten Situation heraus, bemühen sich die Deutsche Post und örtlich geleitete Verkehrsbetriebe gemeinsam mit Unterstützung durch die Hochschule für Verkehrswesen über den meßtechnischen Weg um eine Lösung dieses Problems.

## 2. Geräuschspannung

Bei Näherungen zwischen Starkstromanlagen und Fernmeldeanlagen im ober- und unterirdischen Bauraum können elektrische Beeinflussungen galvanischer, induktiver oder kapazitiver Art auftreten, und sie können kurzzeitig oder ständig vorhanden sein. Die Fernmeldeanlage kann dadurch Gefährdungen und/oder Störungen ausgesetzt sein [6]. Im Fall der Beeinflussung von unterirdisch gelegten Fernmeldekabeln des Ortsnetzes durch fehlerfrei betriebene Energieversorgungsanlagen der Straßenbahn kann von ständiger induktiver Beeinflussung ausgegangen werden, die eine Störung verursacht. Das Störsignal kann in einer Frequenz sowie in einem Frequenzgemisch bestehen. Diese Störung nimmt der Fernsprechteilnehmer akustisch als Geräusch wahr, das im Extremfall den Nachrichtenaustausch total unmöglich machen kann. Ein Maß für den Geräuscheindruck ist die nach [7] definierte Geräuschspannung. Sie ist eine Querspannung infolge von Längsspannungen auf Doppeladern durch deren Erdunsymmetrie [8]. Die Ermittlung der Geräuschspannung kann rechnerisch nach [2] und meßtechnisch nach [3] erfolgen. Der meßtechnischen Ermittlung wird international der Vorrang eingeräumt, da die rechnerische Ermittlung durch die Koppelfaktoren problembehaftet ist. Zulässige Beeinflussungswerte für Anschlußleitungen, Endleitungen und verstärkte NF-Leitungen betragen nach [2] jeweils 1 mV Geräusch-EMK.

Dipl.-Ing. *Wolfgang Weigt* ist wissenschaftlich-technischer Mitarbeiter im Institut für Post- und Fernmeldewesen.

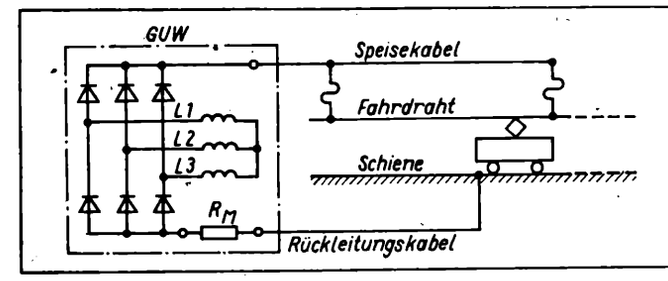



**Bild 1.** Energieversorgungsanlage, Straßenbahn (Prinzip)
*L1, L2, L3* Leiter des Drehstromsystems
$R_M$ Meßwiderstand

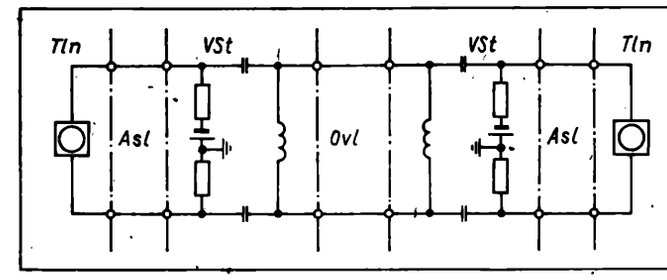



**Bild 2.** Fernsprechverbindung, Gesprächszustand, (Prinzip)
*Tln* Teilnehmer
*VSt* Vermittlungsstelle
*Asl* Anschlußleitung
*Ovl* Ortsverbindungsleitung

## 3. Betriebsweisen von Straßenbahn und Fernmeldeanlage

Straßenbahnen werden in der DDR mit Gleichstrom und Speisespannungen von 600 bis 660 V betrieben. Die Elektroenergie wird dem Mittelspannungsnetz der Frequenz von 50 Hz entnommen. Die Umsetzung auf die Betriebsspannung erfolgt in Gleichrichterunterwerken (GUW) in Sechsphasengleichrichterschaltung. Das GUW versorgt über Speise- und Rückleitungskabel die Fahrleitungsanlage bestehend aus Fahrdraht und hochohmig gegen Erde gelegte Fahrschienen (Bild 1). Die Rückleitungskabel sind zur Rückführung des Fahrstromes in das GUW zur Vermeidung von Streustromkorrosion angeordnet. Als Triebfahrzeuge sind zweiachsige Einheits-Straßenbahnwagen ET 2 und vierachsige Straßenbahnwagen mit Drehgestellen T 4 der DDR-Produktion, Typ Gotha, sowie Tatra-Gelenk-Straßenbahnwagen KT 4 D und Tatra-Straßenbahnwagen T 4 D aus der ČSSR eingesetzt. Diese Fahrzeuge werden durch Gleichstrom-Reihenschlußmotore angetrieben, die über schaltbare Anfahr- und Bremswiderstände gesteuert werden. Seit einiger Zeit befinden sich auch Tatra-Straßenbahnwagen T 6 im Einsatz, deren Fahrmotore über Gleichstrompulssteller (thyristorgesteuert) geschaltet werden. Die Betriebsweise der Bahnenergieversorgungsanlage und ihrer Fahrzeuge hat die unangenehmen Begleiterscheinungen von Oberschwingungen mit 300, 600, 900, ···, Hz durch die Sechsphasengleichrichtung im GUW sowie Störströmen durch die Steuerung auf den Fahrzeugen. Über Störspannungen und -ströme wird in [9] ausführlich informiert.

Fernsprechanlagen der Wählvermittlungstechnik werden betriebsmäßig mit einseitig geerdeter Gleichstromquelle der Betriebsspannung von 60 V betrieben. In einer Fernsprechverbindung sind die *A*- und *B*-Teilnehmerapparate über Leitungen und vermittlungstechnische Einrichtungen miteinander verbunden. Diese Verbindung ist eine Kette von aneinander gereihten Vierpolen mit unterschiedlicher Erdunsymmetrie. Jeder der Teilnehmerapparate bildet separat mit den Speisebrücken der ersten bzw. letzten Wahlstufe eine einseitig geerdete Gleichstromschleife. Zwischen den Wahlstufen erfolgt eine rein wechselstrommäßige Durchschaltung. Im Bild 2 ist der Gesprächszustand prinzipiell dargestellt. Gegen Geräuschstörungen sind vor allem die Gleichstromschleifen empfindlich, aber auch der geerdete wechselstrommäßige Abschnitt trägt zu Geräuschstörungen bei.

Aufgrund der Betriebsweisen von Straßenbahn und Fernmeldeanlage sind Beeinflussungen im Grunde genommen vorprogrammiert.

## 4. Messungen an ausgewählten Objekten

Für die meßtechnischen Untersuchungen wurden zunächst vier Objekte ausgewählt. Die in dem jeweiligen vorangegangenen Objekt erzielten Ergebnisse sollen die in einem Meßprogramm festgelegten Zielstellungen sowie die vorgesehene Meßtaktik bestätigen bzw. korrigieren. Im wesentlichen ist folgendes vorgesehen:

— Feststellen des zeitlichen Auftretens, der Größenordnung und des Frequenzspektrums der Geräuschstörung entlang der Fernsprechleitung
— Identifizierung der vermuteten Beeinflussungsquelle
— Feststellen des Frequenzspektrums der Störquelle
— Untersuchung der Koppelgrößen und des Analogieverhaltens zwischen Längs- und Querspannung
— Festlegung von maximalen Störwerten der Störquelle sowie von zulässigen Werten der Störsenke
— Erstellen von Empfehlungen für Schutzmaßnahmen.

Bild 3 zeigt Auszüge der Meßmethodik aus dem Gesamtmeßprogramm. Vor Beginn der eigentlichen Messungen ist die Prüfung der benutzten Leitungswege angesetzt, um Unzulänglichkeiten, die von vornherein die Meßergebnisse verfälschen würden, zu erkennen und zu beseitigen. Des weiteren sind Symmetrieuntersuchungen vorgesehen. An Meßmitteln stehen zur Zeit Geräuschspannungsmesser MV 71, Spektral- und Frequenzanalysator CK 4-26 (UdSSR), NF-Pegelsender und -empfänger, Kabelmeßkoffer sowie eine spezielle Meßbrücke für Unsymmetriemessungen zur Verfügung. Die Meßschaltungen entsprechen den Bedingungen nach [3].

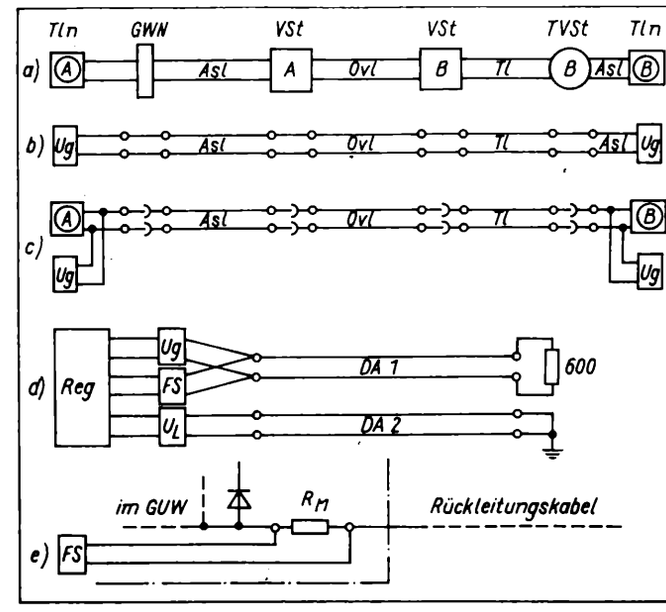



**Bild 3.** Meßmethodik
*Ug* Geräuschspannungsmesser, *Ug*-Messung
$U_L$ Geräuschspannungsmesser, Längsspannungsmessung
*FS* Frequenzanalysator, Messung des Spektrums
*Reg* Registriereinrichtung
*DA* 1, 2 Doppeladern eines Vierers
*Tl* Teilleitung
*TVSt* Teilvermittlungsstelle
a) aufgebaute Fernsprechverbindung
b) Leitung ohne Schaltglieder durchgeschaltet
c) Leitung mit Schaltgliedern durchgeschaltet
d) ausgewählter Abschnitt der Leitung, zeitgleiche Messungen
e) Messung im GUW, Frequenzspektrum

## 5. Meßergebnisse

Durch die zeitliche Aufnahme der Geräuschspannung über mehrere Wochen konnte an Hand des Registrierstreifens eine Identität mit dem Fahrplan der Straßenbahn im gemessenem Streckenabschnitt hergestellt werden. Um diesen Sachverhalt zu erhärten, wurden nacheinander, und zwar bis zur völligen Herausnahme alle in den Streckenabschnitt einspeisenden GUW, abgeschaltet. Die aufgezeichneten Geräuschspannungen gingen de facto auf Null zurück. Diese Feststellungen berechtigen zunächst ein erstes Ergebnis zu formulieren:

„In den untersuchten Gebieten beeinflußt der Betrieb von Straßenbahnen benachbarte Fernmeldeanlagen".

Die Höhe der Geräuschspannung selbst lag mit durchschnittlichen Werten zwischen —65 bis —55 dB, was einer absoluten Geräuschspannung von etwa 0,4 bis 1,4 mV entspricht, deutlich unter der erwarteten Intensität aufgrund der subjektiven Geräuscheindrücke. Diese Werte wurden auch nur dann erreicht, wenn die Durchschaltung der Anschlußleitung zur Vermittlungsstelle erfolgte. Überschreitungen der zulässigen Werte waren von so kurzer Dauer, daß sie als Extremfall eingeordnet wurden. Bei Abtrennung der vermittlungstechnischen Einrichtungen sanken die gemessenen Werte auf unter —90 dB. Damit läßt sich ein zweites Ergebnis fassen:

„Die beim Teilnehmer wirkende Geräuschspannung wird entscheidend durch die Zusammenschaltung der Leitungen mit den vermittlungstechnischen Einrichtungen angehoben".

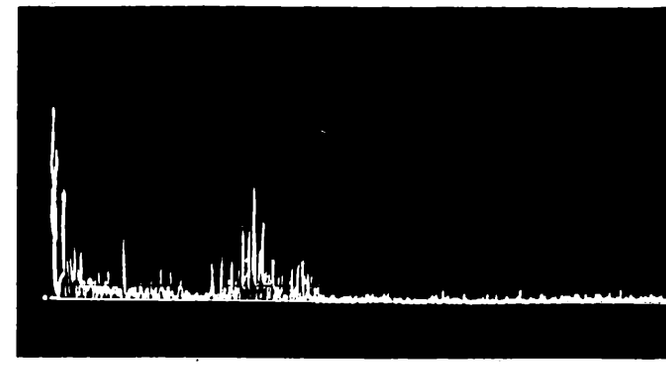
Ein auf der Fernmeldeleitung aufgenommenes Frequenzspektrum der Geräuschstörung zeigt Bild 4. Dieses Spektrum erschien so wenig zutreffend, so daß zunächst die Aufzeichnung des Spektrums eines GUW erfolgte, um vergleichen zu können. Beeinflussung durch andere Störquellen konnte ausgeschlossen werden. Bild 5 zeigte das in einem GUW erwartete Frequenzspektrum mit den Harmonischen 300, 600, 900 Hz. Die Impulsspitze nahe bei $f = 0$ ist meßgerätebedingt (Startimpuls). Die Spitze bei 50 Hz erklärt sich aus der Frequenz des Primärnetzes. Die Frequenzachse wurde gegenüber der Aufzeichnung nach Bild 4 auf 0 bis 1 kHz deshalb festgelegt, da bei Proben die Streckung der Frequenzachse bis 20 kHz einer Nullinie für die Amplituden gleich kam und das deutliche Erkennen der Harmonischen verhinderte. Da eine Analogie zwischen den beiden Spektren nicht erkannt werden konnte, wurde operativ entschieden, eine Meßleitung ohne metallene Umhüllung parallel zur vorher gemessenen Fernmeldekabelleitung auszulegen und zu messen. Auf dieser Meßleitung stellte sich das erwartete Frequenzspektrum tatsächlich ein (Bild 6). Bei dieser Aufzeichnung sind auch noch 3fache Frequenzen von 50 Hz zu erkennen, deren Ursache endgültig noch nicht geklärt ist, vermutlich aber durch Nichtliniaritäten des Transformatorblockes im GUW hervorgerufen werden.

Die Ursachen für die Abweichung der Spektren zwischen Bild 4 und den Bildern 5 und 6 wird noch analysiert. Es ist zu vermuten, daß wirkende Reduktionsfaktoren nicht beachtet und eventuell vorhandene Resonanzen nicht erkannt wurden.

An einer anderen Straßenbahnstrecke wurden Frequenzspektren von konventionellen widerstandsgesteuerten und solchen mit Gleichstrompulsstellern ausgerüsteten Fahrzeugen aufgezeichnet. Die Aufzeichnung erfolgte ebenfalls im GUW bei auf der Strecke einzeln befindlichen Fahrzeugen (Bilder 7 bis 10). Die Spektren unterscheiden sich von denen in den Bildern 5 und 6 unwesentlich. Auch der Vergleich der Spektren untereinander zwischen den widerstandsgesteuerten (Bilder 7 und 8) und thyristorgesteuerten (Bilder 9 und 10) Fahrzeugen läßt keine gravierenden Unterschiede erkennen, es sei denn, man unterstellt den Spektralanteilen zwischen 300 Hz und den Vielfachen von 300 Hz im Bild 7 besondere Aufmerksamkeit schenken zu müssen. Augenscheinlich wird demzufolge, daß eine Straßenbahn-Energieversorgungsanlage mit im Streckennetz fahrenden thyristorgesteuerten Fahrzeugen keine größere Beeinflussung hervorrufen wird, als die seit langem mit konventioneller Technik fahrenden. An dieser Stelle sei deshalb das dritte Ergebnis postuliert:

„Die Energieversorgungsnetze der Straßenbahn haben ein Störspektrum von 300 Hz und deren Vielfache. Dieses Störspektrum

**Bild 4.** Frequenzspektrum auf einer Fernmeldeleitung in einem Kabel mit metallener Hülle
Ordinate: Geräuschspannung
Abszisse: Frequenz 0 bis 20 kHz, linear



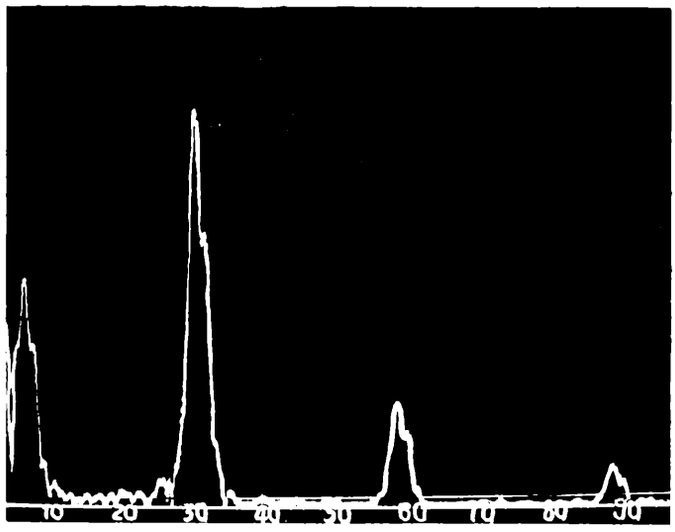


**Bild 5.** Frequenzspektrum des Störstromes in einem GUW
Ordinate: Störstrom
Abszisse: Frequenz 0 bis 1 kHz, linear

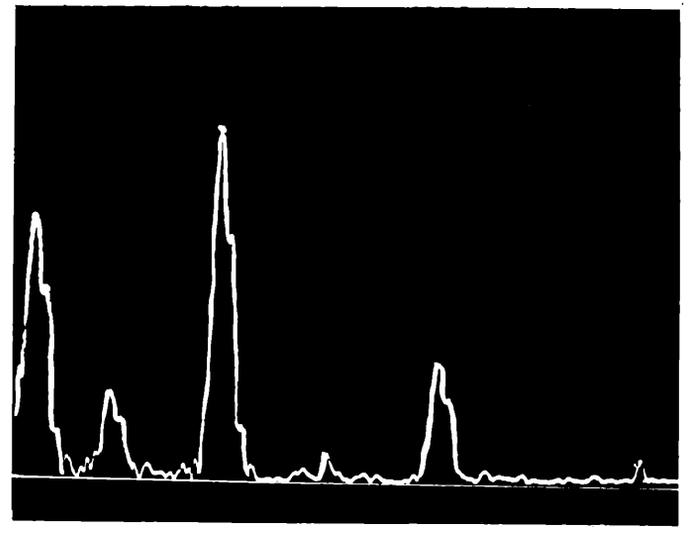


**Bild 6.** Frequenzspektrum auf einer ausgelegten Meßleitung ohne metallene Umhüllung
Ordinate: Längsspannung
Abszisse: Frequenz 0 bis 1 kHz, linear

fällt genau in den NF-Übertragungsbereich der Fernsprechanlagen und kann damit die Sprachsignalübertragung beeinflussen. Mit dem Einsatz von thyristorgesteuerten Fahrzeugen ist eine intensivere Beeinflussung, als die durch widerstandsgesteuerte Fahrzeuge verursachte, nicht zu erwarten".

Soweit, wie bis hierher beschrieben, sind die meßtechnischen Untersuchungen geführt worden. Die Auswertung der Meßergebnisse ist noch nicht abgeschlossen. Weitere Messungen sind geplant.

## 6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

In der DDR wurden Geräuschstörungen in Fernsprechleitungen untersucht. Ihre Existenz ist durch Messungen bestätigt und als Ursache der fehlerfreie Betrieb der Energieversorgungsanlage der Straßenbahn ermittelt worden. Bei den Messungen wurden Ergebnisse erzielt, die erste Aussagen zulassen, sowie Erfahrungen gesammelt, die für die weiteren Untersuchungen nützlich sind. Die angewandte Meßmethodik hat erkennen lassen, daß sowohl die Taktik teilweise verändert als auch der Meßmitteleinsatz verbessert werden müssen. Unter anderem ist es erforderlich, Frequenzspektren des Störstromes auch auf den Fahrzeugen zu messen und gerade das für die Frequenzanalyse eingesetzte Meßmittel gegen solche mit Momentan-Analysezeiten und Eigenregistrierung (z. B. PSA-Meßcomputersystem des VEB Meßelektronik Berlin oder Schmalband-Spektrumanalysator Typ 2031 von Bruel und Kjaer, Dänemark) auszutauschen. Des weiteren wird es zur umfassenden Lösung dieses Problems für notwendig erachtet:

- das Verhalten von Kabeln mit nicht- oder nur wenigleitfähigen Umhüllungen (z. B. Schichtenmantelkabel) in bezug auf ihre Reduktionswirkung in Abhängigkeit der tatsächlich wirkenden Frequenzspektren zu untersuchen
- die Frage nach der Sicherheit der bekannten Koppelgrößen erneut zu stellen
- die Auswirkungen von Resonanzerscheinungen im Fahrleitungsnetz auf die Fernmeldeanlage zu analysieren.

**Bild 7.** Frequenzspektrum im GUW, Fahrzeug auf der Strecke widerstandsgesteuert
Ordinate: Störstrom
Abszisse: Frequenz 0 bis 1 kHz, linear

**Bild 8.** Frequenzspektrum im GUW, Fahrzeug auf der Strecke widerstandsgesteuert
Ordinate: Störstrom
Abszisse: Frequenz 0 bis 4 kHz, linear

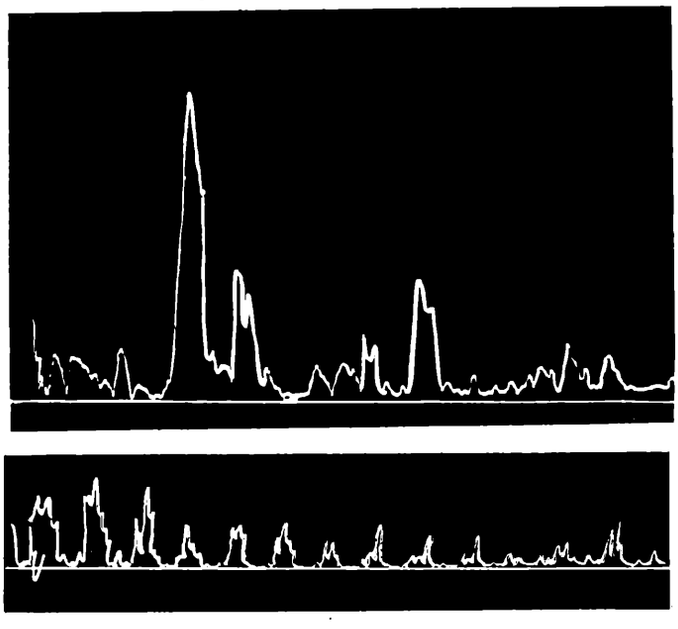
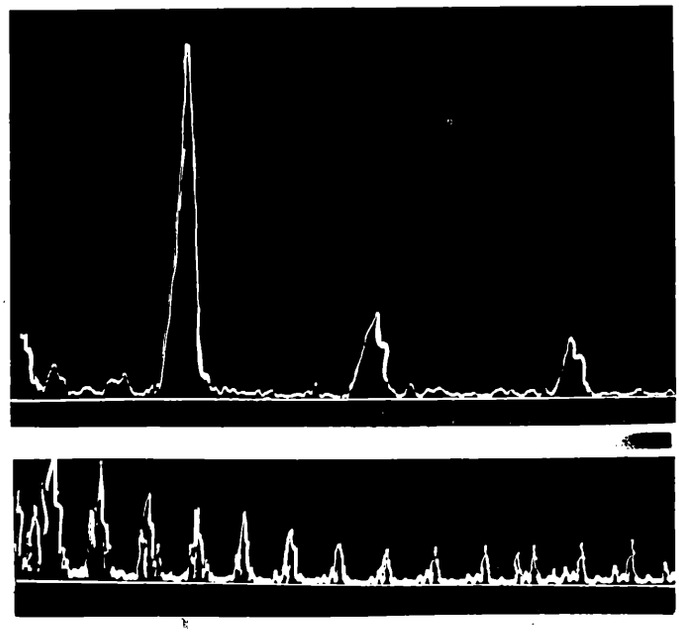


**Bild 9.** Frequenzspektrum im GUW, Fahrzeug auf der Strecke mit Gleichstrompulssteller
Ordinate: Störstrom
Abszisse: Frequenz 0 bis 1 kHz, linear

**Bild 10.** Frequenzspektrum im GUW, Fahrzeug auf der Strecke mit Gleichstrompulssteller
Ordinate: Störstrom
Abszisse: Frequenz 0 bis 4 kHz, linear



**Literatur**

[1] Richtlinie zur Auslegung von Energieversorgungsanlagen für Straßenbahnnetze. KDT-Richtlinie, Dresden, Juni 1979
[2] TGL 200-0605/... Kreuzungen und Näherungen zwischen Informations- und Starkstromanlagen; /01: Beeinflussungsfälle, Ausg. 08. 85
/02: Höchstzulässige Beeinflussungswerte, Ausg. 11. 73
/03: Ermittlung von Starkstrombeeinflussung, Ausg. 08. 73
[3] TGL 43 523: Schutz der Einrichtungen des drahtgebundenen Fernmeldewesens und des Bedienungspersonals gegen Beeinflussung durch elektromagnetische Felder; Meßverfahren, Ausg. 08. 85
[4] Gesetz über das Post- und Fernmeldewesen vom 29. November 1985. GBl. der DDR, 1985, Teil I Nr. 31
[5] IEC: Publication 555-2, 1982
[6] *Weigt, W.:* Beeinflussungsprobleme beim Einsatz von elektronischen Einrichtungen (Teil I und II). Mitteilungen aus dem IPF (1985) 2, S. 22–24, 3, S. 20–22
[7] TGL 43039: Schutz der Einrichtungen des drahtgebundenen Fernmeldewesens und des Bedienungspersonals gegen Beeinflussung durch elektromagnetische Felder; Termini und Definitionen, Ausg. 10. 84
[8] *Koch, H.:* Einfluß der Unsymmetrie von Vermittlungsstellen auf die durch Starkstrombeeinflussungen hervorgerufene Geräuschspannung in Fernsprechverbindungen. Mitteilungen aus dem IPF (1977) 1, S. 20–23
[9] *Runge, W.:* Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Oberschwingungen im Fahrleitungsnetz von Nahverkehrs-Gleichstrombahnen. In: *Feist, K. H.:* Starkstrombeeinflussung: Bestimmungen, Grundlagen und Erkenntnisse. Sindelfingen: Expert-Verlag 1986 EA 5872

*Lieferbar in vierter Auflage*

## Werkstoffkunde für die Elektrotechnik und Elektronik

Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Dr. phil. Lothar Hahn und Chem.-Ing. Irene Munke.
520 Seiten, 228 Bilder, 224 Tafeln, Leinen, DDR 30,— M, Ausland 44,— DM.
Bestellangaben: 553 086 5/Hahn, Werkstoffkunde

Neuartige Werkstoffkunde in Verbindung mit neuartigen Technologien bilden die materielle Grundlage für die moderne Elektrotechnik/Elektronik und erfordern eine enge Zusammenarbeit zwischen Elektroindustrie und Grundstoffindustrie.
Die optimale Werkstoffauswahl gehört heute zu den Kernproblemen bei der Herstellung hochwertiger Erzeugnisse. Dabei sind Auswahl des Werkstoffes, technologische Weiterverarbeitung und Forderungen an das Endprodukt im Zusammenhang zu sehen und aufeinander abzustimmen. Grundkenntnisse auf dem Gebiet der Werkstoffkunde sind daher für jeden Elektroingenieur notwendig.
Das vorliegende Lehrbuch enthält eine zusammenfassende Darstellung der modernen Werkstoffe der Elektrotechnik/Elektronik, gegliedert nach Anwendungsgebieten (struktureller Aufbau, Eigenschaften, Herstellung, technologische Weiterverarbeitung, Einsatzmöglichkeiten). Große Aufmerksamkeit wird den technologischen und anwendungstechnischen Werkstoffragen gewidmet, da diese für den Elektrotechniker häufig wichtiger sind als die Verfahren zur Aufbereitung der Werkstoffe.
Ausführungen über Entwicklungstendenzen runden die gesamte Thematik ab. Ein umfangreiches Literatur- und Standardverzeichnis bietet die Möglichkeit für tiefgründiges Einarbeiten in Spezialgebiete. Zahlreiche Bilder, Diagramme und Tafeln ergänzen den Text und liefern besonders dem in der Industrie tätigen Ingenieur wertvolle Informationen.

Gliederung des Buches: Einleitung · Mikroeigenschaften der Werkstoffe · Makroeigenschaften der Werkstoffe · Werkstoffe unter Umwelteinflüssen · Leiterwerkstoffe · Halbleiter · Kontaktwerkstoffe · Widerstandswerkstoffe · Magnetische Werkstoffe · Isolierstoffe der Elektrotechnik · Ferroelektrika · Werkstoffe der Vakuum-, der Hochtemperatur- und der Tieftemperaturtechnik · Werkstoffe der Optoelektronik · Verzeichnis der Standards.

*Auslieferung durch den Fachbuchhandel*

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

# Elektromagnetische Verträglichkeit durch Fehlererkennungs- und Fehlertoleranzprinzipien

**H. Bauer, G. Langer, KDT, Dresden**

Seit einigen Jahren vollzieht sich in der EMV-Arbeit ein Wandel. Es wird angestrebt, elektronische Geräte nicht mehr vorrangig während der Projektierungs-, Montage- und Inbetriebnahmephase an die elektromagnetisch gestörte Umgebung anzupassen, sondern die Gerätehersteller sind bestrebt, ihre Produkte mit einer genormten elektromagnetischen Verträglichkeit auszustatten. Dieses Ziel wird durch Maßnahmen im Gerät erreicht. Üblich sind Maßnahmen, die das Eindringen von Störgrößen in die elektronische Schaltung reduzieren (Filter, Schirme in konstruktiver Ordnung) sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Störschwelle (störfeste IC-Familien).
Ein weiterer Weg zur EMV kann über die Fehlererkennung und Fehlertoleranz führen. Dabei sind störbedingte Veränderungen logischer Zustände zu erkennen und zu blockieren. Dieser Weg wird durch logische Mittel erreicht. Voraussetzung ist die genaue Kenntnis des störbedingten Verhaltens von Bauelementen und Baugruppen.
Besondere Bedeutung haben derartige Maßnahmen für Sicherheitsschaltungen, bei denen Sicherheitsreserven und Ausfallerkennungsmöglichkeiten im EMV-Bereich erforderlich sind.
Als Voraussetzung wird der koordinierte Aufbau von drei Barrieren gegen die Störbeeinflussung angesehen [1]:

*1. Barriere*

Maßnahmen an der Störquelle und an den Anschlußverbindungen zum Gerät.

*2. Barriere*

Maßnahmen im Gerät, die dem Eindringen von Störgrößen in den elektronischen Teil des Gerätes entgegenwirken und deren elektrische Wirkung reduzieren.

*3. Barriere*

Maßnahmen im logischen Bereich der elektronischen Schaltung.
Im folgenden werden Maßnahmen zur 1. und 2. Barriere vorausgesetzt und EMV-Maßnahmen zur 3. Barriere beschrieben.

### 1. Störmodell und Vereinbarungen

Es wird von dem Störmodell ausgegangen [1], daß durch transiente Störspannungen mit Anstiegszeiten im ns-Bereich über parasitäre Koppelkapazitäten an den galvanisch getrennten Prozeßschnittstellen (z. B. Relais, Optokoppler) Störströme in eine elektronische Einrichtung getrieben werden können. Die Störströme verursachen auf den alle Bauelemente verbindenden Masse- und Versorgungsleitungen transiente Spannungsabfälle. Diese Störimpulsspannungen werden von Schaltkreisen abgegriffen oder stehen zwischen Schaltkreisen über Signalverbindungen an.
Kombinatorische Schaltungselemente erfahren demzufolge logische Zustandsänderungen, die im weiteren als Störsignale bezeichnet werden. Sie laufen über betriebsmäßig vorhandene Wege und logische Verknüpfungen und können durch Elemente mit größeren Schalt- bzw. Verzögerungszeiten blockiert werden. Gefährliche Zustände werden erst erzeugt, wenn Störsignale über kombinatorische Wege oder aber Störspannungen selbst an sequentielle Systeme gelangen. Durch Änderung der gespeicherten logischen Zustände wird Ablauf und Inhalt von betriebsmäßigen Vorgängen verändert. Anstatt der betriebsmäßig vorgesehenen Funktion entsteht ein Funktionsfehler, eine Funktionsminderung, ein Funktionsausfall oder eine Fehlfunktion.
Entscheidend für das Störverhalten sind die speichernd wirkenden Systeme. Sie können in funktionell eng zusammengehörende Elemente gegliedert werden, die gleiches Störverhalten haben und aufgrund ihrer Kleinräumigkeit annähernd mit der gleichen Störgröße

Doz. Dr.-Ing. *Hartmut Bauer*, TU Dresden, Sektion Elektrotechnik, Wissenschaftsbereich Elektroenergietechnik; Dipl.-Ing. *Gunter Langer*, VEB „Otto Buchwitz" Starkstrom-Anlagenbau Dresden

beaufschlagt werden. Diese Annahme ist für integrierte Schaltungen mit mehreren Speicherelementen oder für mehrere gleiche, eng benachbarte integrierte Schaltungen erfüllt.

## 2. Zustandsbeschreibung und Erkennbarkeit von Zustandsänderungen

### 2.1. Zustandsmodell

Im störfreien Fall sind die sequentiellen Teilsysteme betriebsmäßig mit bestimmten logischen Kombinationen belegt, die als Betriebszustände $B$ bezeichnet werden. Der momentan bei Normalablauf eingenommene Betriebszustand, der auch unmittelbar vor einem Störereignis liegen kann, wird als aktueller Betriebszustand $B_n \in B$ bezeichnet (Bild 1). Belegungen, die nicht zu den Betriebszuständen gehören, werden als freie Zustände $F$ bezeichnet.

### 2.2. Arbeitsphasen

Die Zusammenarbeit der integrierten Schaltung mit dem Schaltungsumfeld wird in drei Arbeitsphasen geteilt (Bild 2). Während der Einspeicherphase wird der aktuelle Betriebszustand in den Speicherelementen der integrierten Schaltung realisiert. Während der sich anschließenden Betriebsphase wird der aktuelle Betriebszustand für eine bestimmte Dauer gespeichert, um in Nachfolgeschaltungen bestimmte Vorgänge auszulösen. Nach der Betriebsphase folgt die inaktive Phase. Dabei wird der eingetragene (aktuelle Betriebs-) Zustand nicht mehr benötigt. Während dieser Phase können demzufolge beliebige Zustände ($B$ oder $F$) folgenfrei eingenommen werden.

### 2.3. Übergang auf nicht aktuelle Betriebszustände

Infolge Störeinwirkung kann die Belegung des aktuellen Betriebszustandes in eine Belegung der nicht aktuellen Betriebszustände umgewandelt werden. Erfolgt dieser Zustandsübergang $\dot{z}_{12}$ (Bild 1) außerhalb der inaktiven Phase (Bild 2), wird demzufolge das System während der Betriebsphase nicht entsprechend der Belegung des aktuellen Betriebszustandes handeln, sondern entsprechend der Belegung dieses nicht aktuellen Betriebszustandes. Die Folge dieses Fehlfunktionszustandes $B_f$ ist ein aktiver oder passiver Funktionsfehler.
Wird angenommen, daß zu den Betriebszuständen des sequentiellen Teilsystem an keiner Stelle des elektronischen Systems Redundanz existiert, dann ist es aus der Sicht des elektronischen Systems nicht möglich, die aufgrund ihrer logischen Belegung zu den Betriebszuständen gehörenden Fehlfunktionszustände $B_f \in B$ von den bei ungestörtem Normalablauf erreichten Betriebszuständen zu unterscheiden.

### 2.4. Übergang auf freie Zustände

Wird durch Störeinwirkung ein freier Zustand $F$ erzeugt, kann die durch den aktuellen Betriebszustand gewollte Aktivität ausbleiben. Durch einen Zustandsübergang $\dot{z}_{14}$ (Bild 1) wird ein passiver Fehlerzustand $F_p$ erreicht, der während der Betriebsphase einen Funktionsausfall ergibt. Erfolgt jedoch ein Zustandsübergang $\dot{z}_{13}$ auf einen aktiven Fehlerzustand $F_a$, wird durch die logische Belegung der Speicherelemente eine Fehlfunktion verursacht.
Da die Fehlerzustände als Teilmenge der freien Zustände nicht zur Menge der Betriebszustände gehören, sind sie von diesen unterscheidbar. Mit Hilfe einer Überwachungseinrichtung $\ddot{U}$ kann eine Fehlererkennung erfolgen (Bild 3). Bei Erkennung eines Fehlerzustandes wird durch die Überwachungseinrichtung die Weiterverarbeitung (Betriebsphase) blockiert und der Übergang in einen ungefährlichen Systemzustand (Funktionsausfall) organisiert. Falls Funktionsausfälle gefährliche Wirkungen ergeben, ist eine Reduzierung der Auftretenswahrscheinlichkeit durch Funktionswiederholungen möglich. Auch dafür ist es zweckmäßig, das Ansprechen der Überwachungseinrichtung durch ein Meldesignal der hierarchisch übergeordneten Einheit mitzuteilen.
Die Reduzierung der störungsbedingten Zustandsübergänge ausschließlich auf passive Fehlerzustände $F_p$ würde den Verzicht auf eine Überwachungseinrichtung ermöglichen, ist jedoch nur in Ausnahmefällen praktisch realisierbar.
Falls für die Fehlerzustände keine freien Zustände im notwendigen Maß zur Verfügung stehen, sollte durch zusätzliche sequentielle Schaltungsteile die Anzahl der möglichen Zustände $Z_0$ erhöht werden

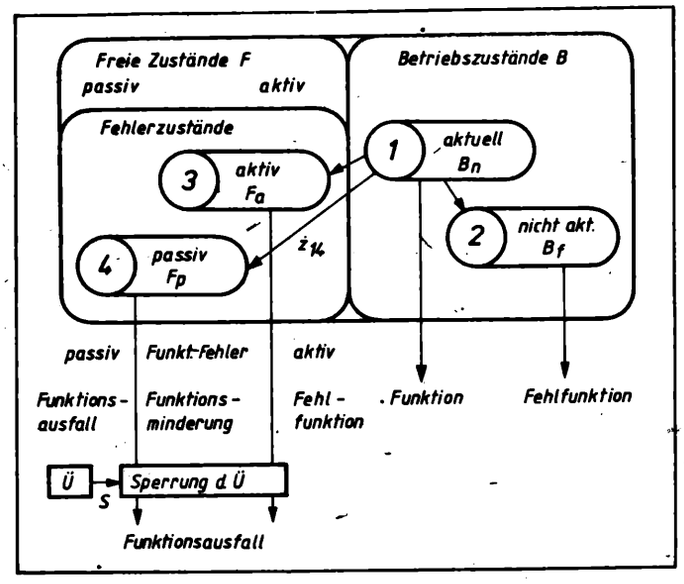



**Bild 1.** Zustandsmodell für die Menge der möglichen Zustände $Z_0$

**Bild 2**
Phasenmodell für den Arbeitsablauf einer sequentiellen Schaltung

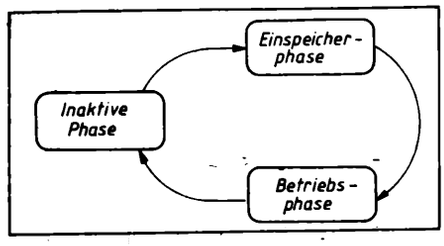
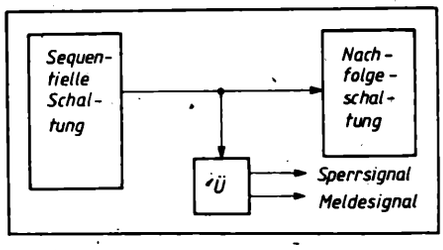



**Bild 3**
Überwachungseinrichtung für sequentielle Schaltung




## 3. Regelverhalten beim Zustandsübergang

### 3.1. Zufälliger Zustandsübergang

Durch gezielte schaltungstechnische und schaltungsorganisatorische Maßnahmen soll erreicht werden, daß der aktuelle Betriebszustand $B_n$ infolge Störeinwirkung nicht in irgendeinen nicht aktuellen Betriebszustand $B_f$, sondern mit hoher Wahrscheinlichkeit in einen erkennbaren Fehlerzustand $F_p$ oder $F_a$ (Bild 1) übergeht. Unter der Annahme gleichwahrscheinlicher Zustandsübergänge würde die Wahrscheinlichkeit des Übergangs in einen Fehlerzustand nur vom zahlenmäßigen Verhältnis $F/B$ und deren Ordnung abhängen. In Analogie zur Datensicherung lassen sich Belegungen, denen Betriebszustände zugeordnet sind, mit einer bestimmten Hammingdistanz durch Zwischenordnen von Belegungen, denen Fehlerzustände zugeordnet sind, trennen.
Derartige Maßnahmen können wirkungslos sein, wenn bei Störeinwirkung kein zufälliger Zustandsübergang, sondern ein Regelverhalten zu erwarten ist.

### 3.2. Möglichkeiten eines Regelverhaltens

Für integrierte Schaltungen ist bei Störeinwirkung mit einem Regelverhalten zu rechnen. Bestimmte logische Belegungen werden bevorzugt eingenommen und bestimmte, meist zum Funktionsumfang der Schaltung gehörende Funktionen werden ausgelöst. Dabei lassen sich folgende Regeln unterscheiden:

a) Die Information an den Dateneingängen der integrierten Schaltung wird bei Störeinwirkung als Vorzugsinformation übernommen.
b) Die gespeicherte Information wird bei Störeinwirkung in eine bestimmte Vorzugsinformation umgewandelt, die von der Belegung der Dateneingänge unabhängig ist.

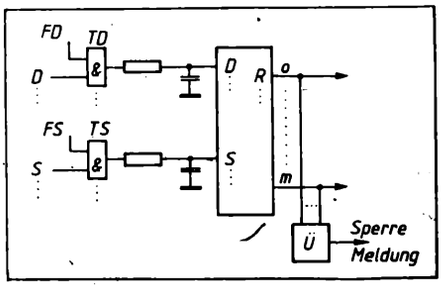



**Bild 4.** Vorschalten von Toren vor die Daten- und Steuereingänge
*D* Dateneingänge; *S* Steuereingänge; *FD* Datenfreigabe, *FS* Steuerfreigabe; *TD* Datentore; *TS* Steuertore; *Ü* Überwachungseinrichtung; *R* Register

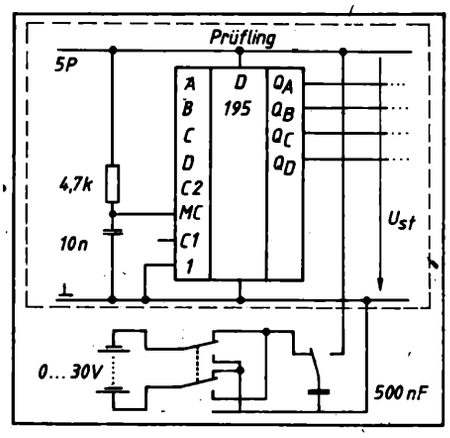



**Bild 5**
Schaltungsaufbau zur Ermittlung des Regelverhaltens am Beispiel des D 195 im Schaltungsumfeld

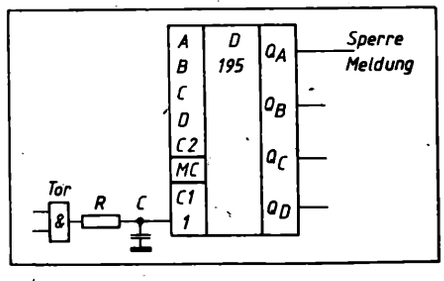



**Bild 6**
Nutzung des Regelverhaltens beim D 195 (Beispiel)

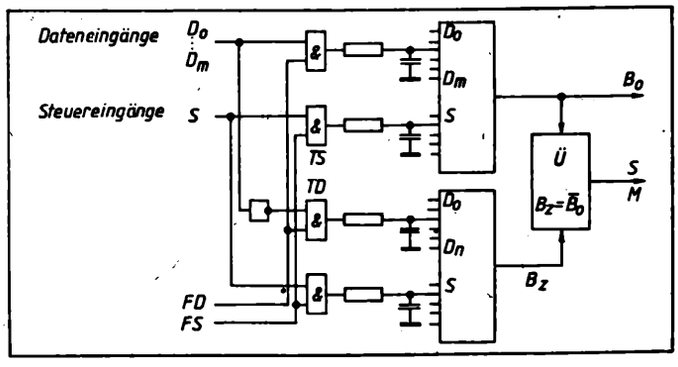



**Bild 7.** Diversitäres Doppelregister für die Speicherung von Betriebszuständen
*Ü* Überwachungseinrichtung, *S* Sperrsignal, *M* Meldesignal, *TD* Datentor, *TS* Steuertor, *FD* Freigabe Datentor, *FS* Freigabe Steuertor, $B_0 + B_Z$ Betriebszustand

c) Existiert nur ein Betriebszustand für die integrierte Schaltung, wird er bei Störeinwirkung in einen beliebigen Fehlerzustand umgewandelt.
d) Bei Störeinwirkung werden datenumformende Funktionen der integrierten Schaltung ausgelöst, z.B. Zählen oder Schieben.

Zur Vervollständigung wird aus Abschn. 3.1. ergänzt:

e) Durch Störeinwirkung wird die gespeicherte Information regellos in andere umgewandelt.

Die störbedingte Auslösung einer Informationsumwandlung muß nicht an vorhandene Steuereingänge der integrierten Schaltung gebunden sein.
In vielen Fällen tritt kein reines Verhalten nach einer bestimmten Regel, sondern ein Verhaltensgemisch auf. Dabei können dessen Regelanteile von der Form und dem Scheitelwert der Störimpulse sowie von der Einbindung des Schaltkreises in die elektronische Schaltung abhängen.

### 3.3. Bedingungen für die Nutzung des Regelverhaltens

Durch die Nutzung des Regelverhaltens soll erreicht werden, daß bei Störeinwirkung die Wahrscheinlichkeit für die Zustandsübergänge $\dot{z}_{13}$ und $\dot{z}_{14}$ wesentlich größer als für den Übergang $\dot{z}_{12}$ ist. Demzufolge wird mit großer Wahrscheinlichkeit ein erkennbarer Fehlerzustand erreicht und Fehlfunktionen können vermieden werden, wobei zu beachten ist:

1. Die Aufteilung der möglichen Zustände in Betriebs- und Fehlerzustände soll entsprechend den Verhaltensregeln erfolgen.
2. Durch schaltungstechnische Maßnahmen kann erreicht werden, daß der Anteil des Regelverhaltens erhöht und das Zufallsverhalten verdrängt wird.
3. Durch Störschutzmaßnahmen zur 1. und 2. Barriere und durch schaltungstechnische Maßnahmen ist die Störeinwirkung einer äußeren Störspannung in der integrierten Schaltung zu reduzieren. Durch diese Koordinierung der Maßnahmen zu den drei Barrieren werden Funktionsminderungen infolge eines vermeidbar häufigen Ansprechens der Überwachungseinrichtung weniger wahrscheinlich.

## 4. EMV-Maßnahmen unter Berücksichtigung des Regelverhaltens

### 4.1. Vorzugsbelegung für Dateneingänge

Bei Verhaltensanteilen nach der Regel a) werden die Dateneingänge vorteilhaft mit einem Fehlerzustand belegt. Liegen Verhaltensanteile nach Regel b) vor, so ist diese bekannte Vorzugsbelegung auf die Dateneingänge zu legen.
Sind Dateneingänge unbenutzt, kann diese Vorzugsbelegung als festes Bitmuster mit Hilfe des Null- und Versorgungsspannungspotentials aufgeschaltet werden. Zwischengeschaltete *RC*-Glieder können Zustandsänderungen bei Störungen auf den Versorgungsspannungsleitungen verhindern.
Sind die Dateneingänge betriebsmäßig genutzt, ist die Vorschaltung von Toren *TD* zu empfehlen (Bild 4). Die Tore werden nur während der Speicherphase zwecks Datenübernahme geöffnet. Im geschlossenen Zustand (Betriebsphase, inaktive Phase) erzeugen sie als logische Ausgangsbelegung einen Fehlerzustand (Vorzugszustand), der bei Störeinwirkung in die integrierte Schaltung übernommen wird. Da sich während der Störeinwirkung auch die Tore kurzzeitig (für einige Nanosekunden) öffnen können und somit den am Torausgang liegenden Fehlerzustand unwirksam machen (verändern) können, ist mit Hilfe von *RC*-Gliedern das sofortige Durchgreifen auf die Dateneingänge der integrierten Schaltung zu verhindern.
Es ist naheliegend, während der inaktiven Phase einen Fehlerzustand in die integrierte Schaltung zu laden. Ein durch Störeinwirkung unbeabsichtigter Anlauf der Nachfolgeschaltungen wird dann durch das Sperrsignal der Überwachungseinrichtung blockiert. Hierzu ist im Gegensatz zu den Datentoren an den Toren der Steuereingänge auch während der inaktiven Phase eine Toröffnung zum Laden des Fehlerzustandes erforderlich.

### 4.2. Fehlerindikatoren

Wenn sich die Speicherelemente auf einem Chip oder auf benachbarten Chips gleichen Typs befinden, kann nahezu gleiche Störgrößenbeanspruchung und gleiche Festigkeit (Empfindlichkeit) vorausgesetzt werden.
Eine Verbesserung der EMV kann durch Nutzung eines Teils der sequentiellen Schaltung als Fehlerindikator erreicht werden. Es sind Mehrbit-, Einbit- und mehrere Einbitanordnungen möglich. Einbitanordnungen benötigen keine Überwachungseinrichtung, schränken jedoch die Menge der Betriebszustände ein. Vorteilhaft lassen sich mehrere Einbitanordnungen mit ODER-verknüpftem Sperrsignal verwenden.
Ein anderer Weg läßt sich beschreiten, wenn der Fehlerindikator nur Fehlerzustände trägt und empfindlicher gemacht wird als die zu schützenden, den Betriebszustand tragenden Speicherelemente. Der Nachteil einer derartigen EMV-Sollbruchstelle besteht darin, daß die den Betriebszustand tragenden Speicherelemente nicht direkt überwacht werden. Somit ist ein sicherer Schutz nicht möglich. Eine Vergrößerung der Ansprechwahrscheinlichkeit für diese indirekte Überwachung läßt sich prinzipiell über eine Erhöhung der

| Realisierungen | $Q_A$ | $Q_B$ | $Q_C$ | $Q_D$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | H | H | H | H |
| 5 | L | H | H | H |
| 2 | L | L | H | H |
| 1 | L | L | L | H |
| 6 | L | L | L | L |

Schaltung nach Bild 5 mit $u_{st} = -6$ V

**Tafel 1**
**Regelverhalten eines 4-bit-Schieberegisters im Schaltungsumfeld**

Sensibilität des Fehlerindikators erreichen, was jedoch die Wahrscheinlichkeit für passive Funktionsfehler (Funktionsminderung, Funktionsausfall) unnötig erhöhen könnte.
Beispielsweise liegt beim IC D 195 Regelverhalten d) vor (Bild 5, Tafel 1). Es ist vorzugsweise an der Funktion Schieben erkennbar. Wenn das erste Flipflop des Schieberegisters als Einbitanordnung genutzt wird (Bild 6), kann an den seriellen Eingang als Fehlerzustand L-Pegel gelegt werden. Bei betriebsmäßiger Nutzung des Eingangs ist ein Tor mit *RC*-Glied vorzuschalten. Als Betriebszustand muß dann in dieses Flipflop H-Pegel geladen werden, der am Ausgang $Q_A$ als inaktives Sperr- bzw. Meldesignal wirksam wird. Eine störbedingte Übernahme des L-Eingangszustandes nach $Q_A$ aktiviert das Sperr- bzw. Meldesignal.

### 4.3. Schaffung zusätzlicher logischer Zustände

Wenn zu wenige freie Zustände vorhanden sind, können durch zusätzliche Speicherelemente brauchbare Fehlerzustände geschaffen werden.
Die $2^m$ möglichen logischen Zustände der aus $m$ Speicherelementen bestehenden integrierten Schaltung sollen vollständig mit Betriebszuständen $B_0$ besetzt sein. Der zusätzlich aufgebaute sequentielle Schaltungsteil soll aus $n$ Speicherelementen bestehen und somit $2^n$ mögliche logische Zustände $B_z$ haben. Jedem Betriebszustand $B_0$ wird mit der Funktion $\varphi$ eindeutig ein Zustand aus dem Vorrat $B_z$ zugeordnet:

$$B_z = \varphi(B_0). \tag{1}$$

Jeder für die gesamte Schaltung gültige aktuelle Betriebszustand $B_n$ setzt sich nun aus beiden Komponenten zusammen:

$$B_n = B_z B_0 = \varphi(B_0) B_0. \tag{2}$$

Alle anderen, nicht zur Funktion $\varphi$ gehörenden Zuordnungen von $B_z$ und $B_0$ sind erkennbare Fehlerzustände. Eine Überwachungseinrichtung kontrolliert, ob die Funktion nach (1) erfüllt ist.
Wenn das Regelverhalten nicht berücksichtigt wird, ist die durch $\varphi$ erreichbare Hammingdistanz entscheidend. Jedoch können durch ein Regelverhalten bei ungünstiger Konstellation der logischen Verhältnisse große Hammingdistanzen mit hoher Wahrscheinlichkeit übersprungen werden.
Es sind Funktionen auszuwählen, die auf das Regelverhalten zugeschnitten sind. Beispielsweise sind beim Regelverhalten a) und b) vorteilhaft Doppelregister mit $B_z = \overline{B}_0$ zu verwenden. Die Betriebszustände werden diversitär über die Datentore in die Register geladen (Bild 7). Als Fehlerzustand wird durch die Tore außerhalb der Speicherphase ein äquivalenter Zustand entsprechend Regel b) angelegt (z. B. alles Ø).

## 5. Arbeitsstrategie der Überwachungseinrichtung

### 5.1. Arbeitsweise

Die Überwachungseinrichtung ermittelt ihre Entscheidung während des Überwachungszyklus mit einer Zykluszeit $t_z$. Die Zykluszeiten können zwischen einigen Zehn Nanosekunden bei kombinatorischen Schaltungen bis zu einigen Hundert Mikrosekunden bei umfangreichen sequentiell ablaufenden Überwachungsalgorithmen betragen.
Zur Blockierung von aktiven Funktionsfehlern (Fehlfunktionen) sind zwei Arbeitsweisen möglich:

1. Die Überwachungseinrichtung gibt die Nachfolgeschaltung prinzipiell mindestens zu Beginn der Betriebsphase frei. Wird ein Fehlerzustand erkannt, wird nach Durchlaufen des Überwachungszyklus blockiert.
2. Die Überwachungseinrichtung sperrt prinzipiell zu Beginn der Betriebsphase die Nachfolgeschaltung. Wird kein Fehlerzustand erkannt, wird nach Durchlaufen des Überwachungszyklus freigegeben.

Durch Störeinwirkung
— außerhalb der Betriebsphase kann der Übergang in die Betriebsphase (Bild 2) oder
— innerhalb der Betriebsphase kann ein Zustandsübergang (Bild 1) erfolgen. Deshalb sollte unbedingt während der Betriebsphase der automatische Start und das ständige Wiederholen des Überwachungszyklus erfolgen.

### 5.2. Zeitbilanz

Die Überwachungseinrichtung kann einen aktiven Fehlerzustand erst nach der Zykluszeit wirksam blockieren. Um Fehlfunktionen zu verhindern, ist die Nachfolgeschaltung so träge zu dimensionieren daß ihre Reaktionszeit $t_r$ größer ist. Dadurch gilt $t_r > \alpha t_z$ für kombinatorische Schaltungen und $t_r > 2 \alpha t_z$ für sequentielle Abarbeitung von Überwachungsalgorithmen, mit $\alpha \geqq 1$.
Durch Störeinwirkung kann auch der Zyklusdurchlauf und die Entscheidung der Überwachungseinrichtung verändert werden. Die Wahrscheinlichkeit für das störbedingte Ausbleiben eines notwendigen Sperrsignals kann durch die Koordinierung mit $\alpha = 10$ bis 100 wesentlich reduziert werden. Demzufolge muß nur einer von $\alpha$ Zyklusdurchläufen während $t_r$ erfolgreich sein, um einen Fehlerzustand zu erkennen und unwirksam zu machen. Da dieser Fehlerzustand auch ein aktiver sein kann, sollte das Sperrsignal nicht nur die Nachfolgeschaltung blockieren, sondern auch die zu überwachende sequentielle Schaltung in einen passiven Fehlerzustand $F_p$ setzen.
Beispielsweise ergibt sich für ein Steuerrelais als Nachfolgeschaltung mit $t_r = 10$ ms eine zuverlässige Koordination mit $\alpha = 100$, wenn eine Überwachungsschaltung mit einer Zykluszeit $t_z = 100$ µs arbeitet.

## 6. Koordination zwischen Fehlfunktion und Funktionsausfall

Die beschriebenen Maßnahmen haben zielgerichtet eine hohe Sensibilität gegenüber aktiven Funktionsfehlern (Fehlfunktion, Überfunktion) zur Folge. Derartige Fehler werden mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit erkannt und in passive Funktionsfehler (Funktionsausfall, Unterfunktion) gewandelt. Diese erhöhte Blockierungswahrscheinlichkeit kann durch Funktionswiederholungen heruntergepegelt werden. Priorität hat stets die Reduzierung gefährdender Prozeßzustände zu Lasten von hemmenden Prozeßzuständen. Die Zuordnung ist für ausgewählte Funktionen differenziert vorzunehmen. Beispielsweise ist bei der Funktion Steuerung in einer Hochspannungsschaltanlage [2] für eine Trennerschaltung bei Fehlfunktion eine Gefährdung infolge Sammelschienenkurzschluß und für Schutzauslösung des Leistungsschalters bei Funktionsausfall eine Gefährdung infolge Überschreitung der Stromtragfähigkeit zu erwarten.

**Literatur**


[1] *Bauer, H.; Langer, G.:* Erhöhung der Zuverlässigkeit einer modernen Prozeßleittechnik für Umspannwerke durch Maßnahmen zur elektromagnetischen Verträglichkeit. Wiss. Z. der TU Dresden 36 (1987) 3, S. 175–181

[2] *Bauer, H.; Dreßler, D.; Czybik, H.-P.; Ambrosch, H.:* Betriebsführung von Schaltanlagen bei Nutzung von Mikrorechnern und Lichtwellenleitern. Konf. „Automatisierung und Steuerung der Verteilungssysteme II", Tabor, ČSSR (12. bis 14. 6. 1984), Band I, S. 71–80 EA 5873



Soeben erschienen

**Bausteine der Automatisierungstechnik**

Von einem Autorenkollektiv unter Federführung von Dr.-Ing. *G. Graichen* und Dr.-Ing. *H. Kolb*. Herausgegeben vom Institut für Fachschulwesen der DDR. Berlin: VEB Verlag Technik 1987. 1. Auflage. 368 Seiten, 342 Bilder, 47 Tafeln. Kunstleder 25,— Mark.
Bestell-Nr. 553 612 4

In diesem Fachschullehrbuch wird das notwendige Grundwissen über das Betriebsverhalten und über den sachgerechten Einsatz der für die Automatisierungstechnik typischen Bauelemente und Bausteine behandelt. Ein besonderer Schwerpunkt ist die Vermittlung notwendiger Kenntnisse über die elektronischen und mikroelektronischen Bauelemente und Bausteine.
Neben Studenten elektrotechnischer Fachrichtungen werden insbesondere auch Studierende nichtelektrischer Fachrichtungen angesprochen. Gerade dieser Personenkreis, besonders im Bereich der Maschinenbauindustrie, hat einfache Automatisierungsaufgaben selbständig zu lösen sowie Baugruppen, Geräte und Anlagen der Automatisierungstechnik sinnvoll und mit hohem Nutzeffekt einzusetzen. Wichtig ist auch, daß diese Ingenieure in der Lage sind, mit Spezialisten die günstigsten Automatisierungslösungen zu beraten und durchzusetzen.

# Betrachtungen zum Reduktionsfaktor bei mehreren Reduktionsleitern

St. Kühne; H. Kindler, KDT; Zittau

Im Zusammenhang mit Beeinflussungsproblemen wird die Wirkung von Reduktionsleitern mit Hilfe des Reduktionsfaktors quantifiziert. Aus der Literatur ist bekannt, daß, abhängig vom Ziel einer Untersuchung, die Definition des Reduktionsfaktors unterschiedlich ist. Es wird unterschieden zwischen:

— Stromreduktionsfaktor (Längsspannungsreduktionsfaktor)
— Spannungsreduktionsfaktor (Querspannungsreduktionsfaktor).

Die Anwendung des ersten ist sinnvoll, wenn es z. B. um folgende Fragen geht:

— Ermittlung des potentialanhebenden Stromes bei Erdungsanlagen
— Ermittlung der thermischen Beanspruchung von Kabelmänteln bei Erdfehlern
— Ermittlung der induzierten Längsspannung in Fernmeldekabeln.

Für den Fall, daß eine Aussage bezüglich der Potentialanhebung von beeinflußten erdverlegten Leitungen (z. B. von Kabelmänteln, Rohrleitungen, Gleisen) benötigt wird, ist es jedoch sinnvoll, den Spannungsreduktionsfaktor anzuwenden. Das gilt insbesondere dann, wenn die Reduktionswirkung mehrerer Reduktionsleiter, die sowohl ohmsch als auch induktiv gekoppelt sind, quantifiziert werden soll. Eine solche Situation ist für Beeinflussungsprobleme an Rohrleitungen in industriellen Ballungsräumen typisch. Zur Ermittlung des Reduktionsfaktors für einen solchen Fall ist eine Untersuchung der Gesamtsituation auf der Grundlage einer Netzwerksanalyse unumgänglich. Das Ziel dieses Beitrages ist es daher, diesen Weg zur Ermittlung des Spannungsreduktionsfaktors prinzipiell darzustellen sowie über ausgewählte Untersuchungsergebnisse an konkreten Rohrleitungsbeeinflussungsanordnungen zu berichten.

## 1. Definition der Reduktionsfaktoren

Der Stromreduktionsfaktor wird prinzipiell aus einem Verhältnis von Strömen bestimmt. Für den speziellen Fall des Erdfehlers an einer Drehstromleitung gilt z. B. für den Reduktionsfaktor:

$$r_I = \frac{\underline{I}_E}{3\,\underline{I}_o} = 1 - \frac{\underline{I}_{ES}}{3\,\underline{I}_o} \qquad (1)$$

$\underline{I}_E$ Strom im Erdreich
$3\underline{I}_0$ 3facher Nullstrom
$\underline{I}_{ES}$ Erdseilstrom.

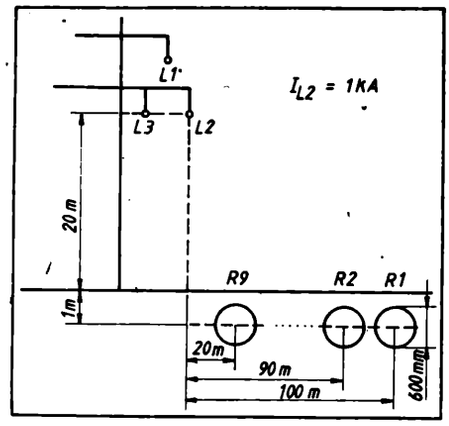
Da in erster Näherung das gleiche Resultat entsteht, wenn die in einen beeinflußten Leiter eingekoppelten Längsspannungen ins Verhältnis gesetzt werden, wird der Stromreduktionsfaktor mitunter auch als Längsspannungsreduktionsfaktor bezeichnet. Folgende Betrachtung macht das deutlich:

$$r_I = \frac{\underline{U}_L}{\underline{U}_{Lo}} = 1 - \frac{\underline{Z}_{ES-BL}\,\underline{I}_{ES}}{\underline{Z}_{LS-BL}\,3\,\underline{I}_o} \qquad (2)$$

$\underline{U}_{Lo}$ induzierte Längsspannung ohne Berücksichtigung eines Reduktionsleiters
$\underline{U}_L$ induzierte Längsspannung unter Berücksichtigung eines Reduktionsleiters
$\underline{Z}_{ES-BL}$ Koppelimpedanz zwischen Erdseil und beeinflußtem Leiter
$\underline{Z}_{LS-BL}$ Koppelimpedanz zwischen Leiterseil und beeinflußtem Leiter.

Prof. Dr. sc. techn. *Herbert Kindler* ist Professor für Anlagentechnik an der Sektion Elektroenergieversorgung der IH Zittau; Dipl.-Ing. *Stefan Kühne* ist wissenschaftlicher Assistent an der Sektion Elektroenergieversorgung der IH Zittau

**Bild 1**
Zugrunde gelegte Beeinflussungsanordnung

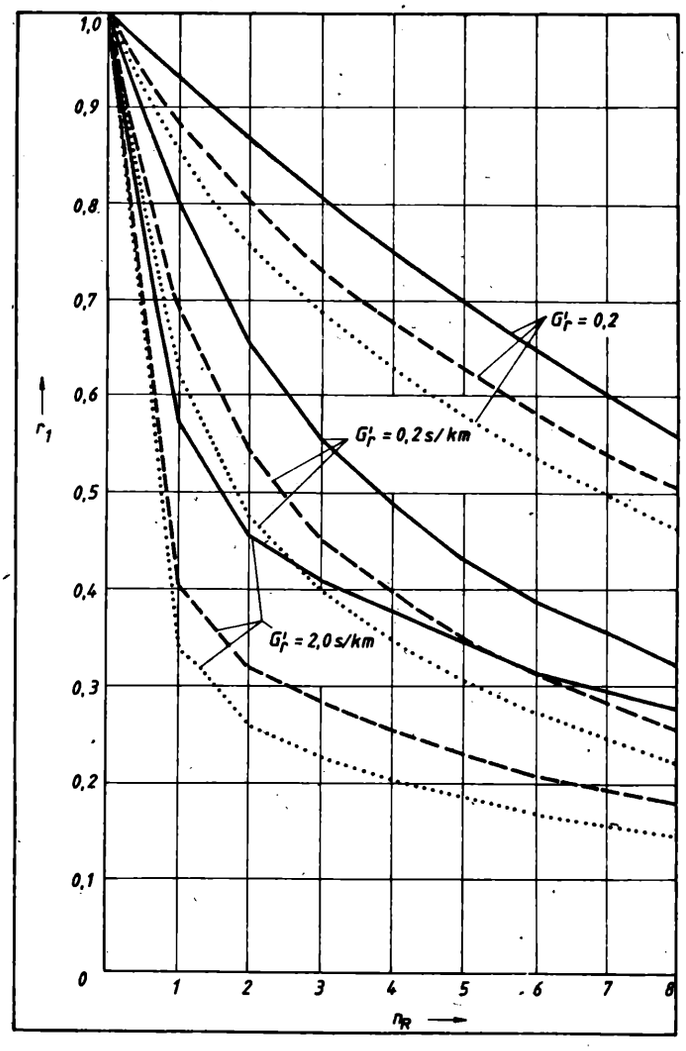



In erster Näherung können wegen

$$\frac{l_{LS-ES}}{l_{LS-BL}} \ll 1 \qquad (3)$$

$l_{LS-ES}$ Abstand zwischen Leiterseil und Erdseil der beeinflussenden Leitung
$l_{LS-BL}$ Abstand zwischen Leiterseil der beeinflussenden Leitung und Kabelader der beeinflußten Leitung

**Bild 2.** Reduktionsfaktor am Leiter R2 als Funktion der Anzahl der Reduktionsleiter mit dem Parameter Ableitbelag der Isolierung der Leiter
$\varrho_E$ = 50 Ωm
——— $G_1$ = 2,0 s/km
- - - - - $G_1$ = 0,2 s/km
. . . . $G_1$ = 0,02 s/km
$r_1$ Reduktionsfaktor, bezogen auf das betrachtete Rohr
$\varrho_E$ spez. Erdwiderstand
$G_1$ Ableitbelag der Isolierumhüllung $R_1$
$G_r'$ Ableitbelag der Isolierumhüllung der übrigen Reduktionsleiter
$n_R$ Anzahl der Reduktionsleiter



die Koppelimpedanzen in (2) gleichgesetzt werden, so daß diese letztlich mit (1) identisch ist. Der Spannungsreduktionsfaktor ist prinzipiell wie folgt vereinbart:

$$r_U = \frac{U_{\max}^{m.R.}}{U_{\max}^{o.R.}}$$

$U_{\max}^{m.R.}$ maximale Spannung Leitung — Erde an der betrachteten beeinflußten Leitung unter Anwesenheit aller Reduktionsleiter

$U_{\max}^{o.R.}$ analoge Spannung ohne Anwesenheit der Reduktionsleiter.

Die Verwendung der jeweils maximalen Spannung resultiert daraus, daß dieser Reduktionsfaktor im Zusammenhang mit der Beurteilung der Gefährdungssituation entlang des beeinflußten Leiters von Interesse ist. Aus diesem Grunde genügt es auch, mit dem Verhältnis der Beträge der Spannungen zu arbeiten.

Beide Spannungen in (4) sind nicht ohne Kenntnis der Beschaffenheit des betrachteten beeinflußten Leiters selbst, als auch der parallelen Reduktionsleiter berechenbar. Bei erdverlegten Reduktionsleitern treten neben induktiven auch ohmsche Kopplungen auf. Für den Fall, daß der betrachtete beeinflußte Leiter einen großen Strom führen kann, treten auch diesbezügliche Rückwirkungen auf.

Eine derartige Komplexität der Wirkungen ermöglicht es nicht, den Spannungsreduktionsfaktor auf ein Verhältnis von Strömen analog (2) zurückzuführen.

## 2. Ermittlung des Spannungsreduktionsfaktors für eine Beeinflussungsanordnung mit mehreren Reduktionsleitern

### 2.1. Charakterisierung der Beeinflussungsanordnung

Eine Übersichtsskizze der betrachteten Beeinflussungsanordnung ist im Bild 1 dargestellt. Zu einer Hochspannungsleitung verlaufen

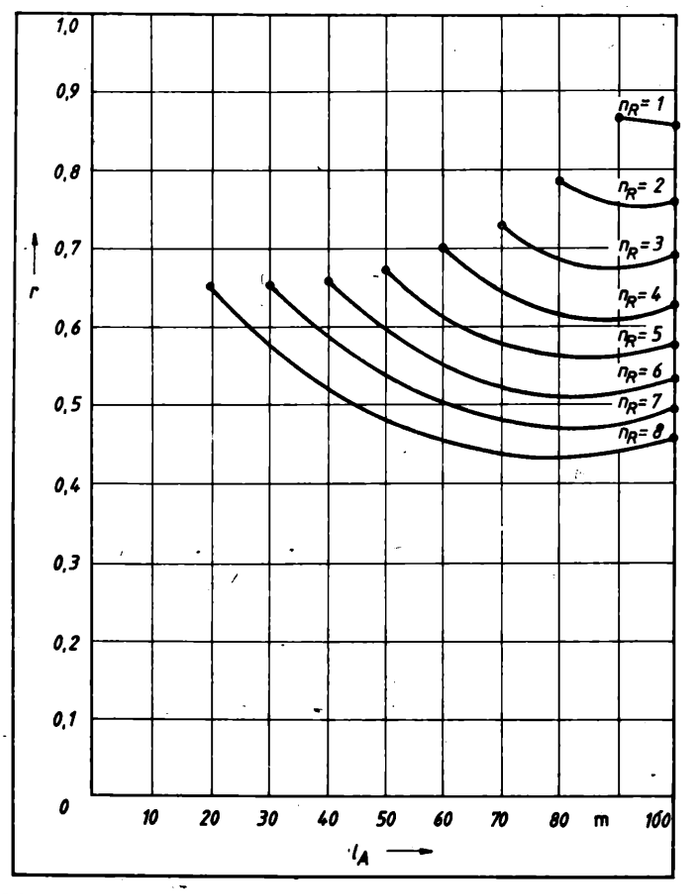
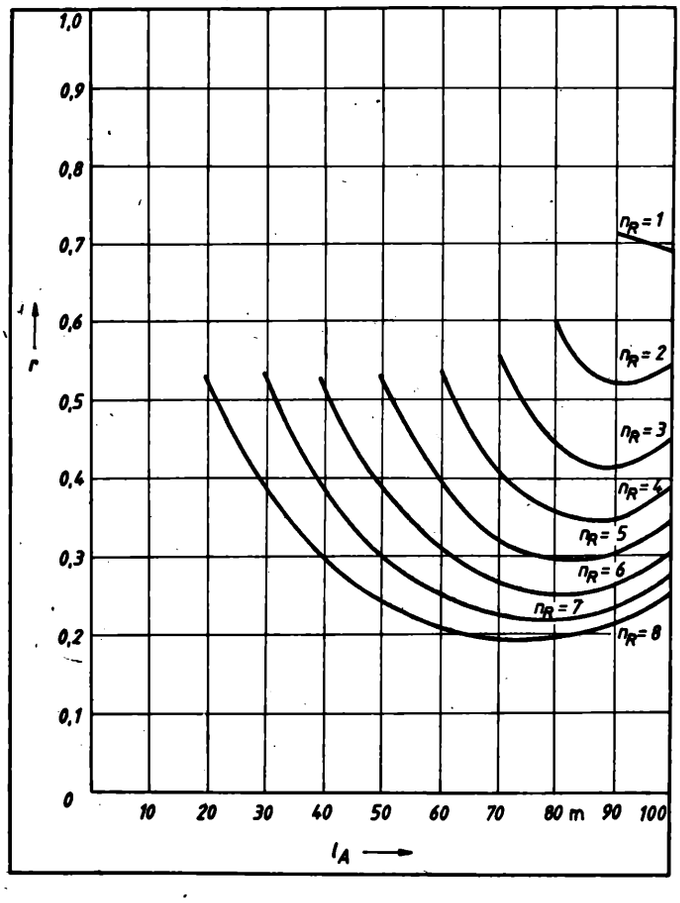
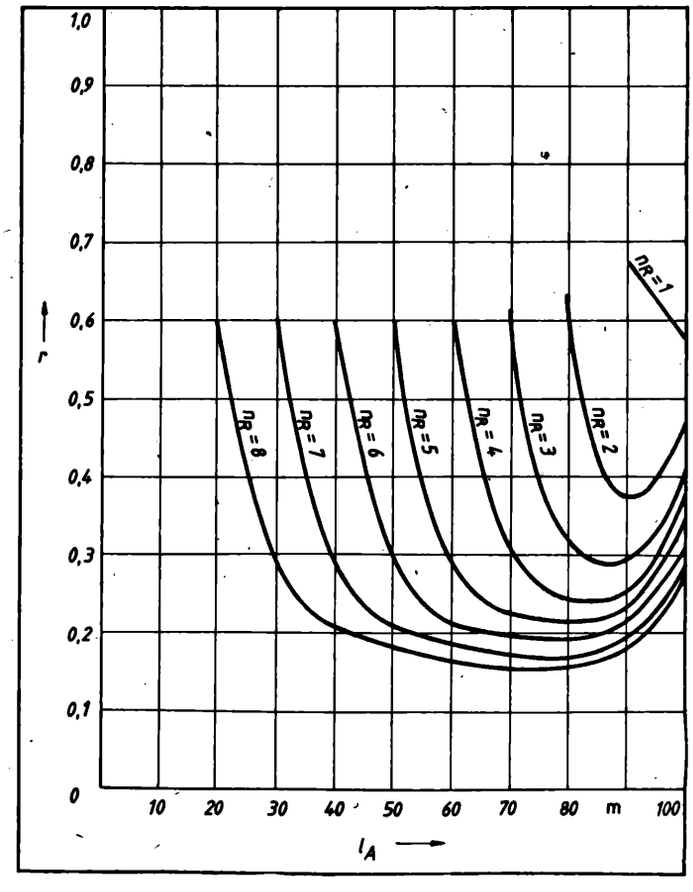



**Bild 3.** Reduktionsfaktor am jeweils betrachteten Leiter als Funktion der Lage des Leiters, mit dem Parameter Anzahl der Reduktionsleiter
(Ableitbelag der Isolierung $G' = 0{,}02$ s/km)
$r$ Reduktionsfaktor am jeweils betrachteten Leiter
$G'$ Ableitbelag aller Isolierumhüllungen
$l_A$ Abstand von der Hochspannungs-Leitung
$n_R$ Anzahl der Reduktionsleiter
$\varrho_E = 50$ Ωm

**Bild 4.** Reduktionsfaktor am jeweils betrachteten Leiter als Funktion der Lage des Leiters, mit dem Parameter Anzahl der Reduktionsleiter (Ableitbelag der Isolierung $G' = 0{,}2$ s/km)
$\varrho_E = 50$ Ωm

**Bild 5.** Reduktionsfaktor am jeweils betrachteten Leiter als Funktion der Lage des Leiters, mit dem Parameter Anzahl der Reduktionsleiter (Ableitbelag der Isolierung $G' = 2$ s/km)
$\varrho_E = 50$ Ωm



über eine Länge von 5 km 1 bis 9 Rohrleitungen mit einem Mittenabstand von 10 m parallel. Dieser Fall ist für industrielle Ballungsräume typisch. Bezüglich der Beurteilung der Reduktionswirkung der jeweils benachbarten Rohrleitungen sind Aussagen in zwei Richtungen interessant:

a) Die Rohrleitung *R1* (am weitesten außen gelegen) ist die beeinflußte Rohrleitung. Untersucht wird der Einfluß der Anzahl der Reduktionsleiter sowie die Güte der Isolierung gegen Erde sowohl der Reduktionsleiter als auch der betrachteten beeinflußten Rohrleitung auf den Reduktionsfaktor an der Rohrleitung *R1*.

b) Es wird angenommen, daß jede vorhandene Rohrleitung als die bezüglich der Beeinflussung zu untersuchende in Frage kommt. Gesucht wird hier die geometrische Lage für die betrachtete beeinflußte Rohrleitung, die in einer Gruppe von Reduktionsleitern die größte Reduktionswirkung aufweist.

### 2.2. Prinzipieller Lösungsweg

Wie bereits im Abschn. 1. erwähnt, ist es für den vorliegenden Fall nicht ohne weiteres möglich, den Spannungsreduktionsfaktor hinsichtlich der o.g. Fragestellung zu bestimmen. Es wurde deshalb den Untersuchungen ein physikalisches Modell zugrunde gelegt, bei dem alle parallelen Leiter als Kettenleiter aufgefaßt werden, zwischen denen induktive und ohmsche Kopplungen vorhanden sind. Darüber hinaus ermöglicht ein solches Modell auch die Berücksichtigung beliebiger Inhomogenitäten zusätzlicher Erdungspunkte, Veränderungen der Anzahl der Reduktionsleiter und dergleichen. Die mathematische Beschreibung dieses physikalischen Modells erfolgt über eine Netzwerkanalyse. Im Ergebnis der Netzwerkanalyse liegen dann die Strom-Spannungs-Verteilungen aller an der Beeinflussungssituation beteiligten Leiter vor. Damit sind auch die für die Bestimmung des Spannungsreduktionsfaktors notwendigen Größen bekannt. Dieser Algorithmus wurde in Form eines EDV-Programms [1] aufbereitet, das es ermöglicht, beliebige Beeinflussungsfälle mit mehreren Reduktionsleitern zu analysieren.

### 2.3. Ergebnisdarstellung

Bezüglich des Falles a) nach Abschn. 2.1. sind die Ergebnisse im Bild 2 dargestellt. Die graphische Darstellung läßt eindeutig erkennen:

— Eine steigende Anzahl von Reduktionsleitern trägt zur Verkleinerung des Reduktionsfaktors an der betrachteten beeinflußten Leitung bei.
— Die Abnahme des Reduktionsfaktors an der betrachteten beeinflußten Leitung verläuft degressiv;
eine Verschlechterung der Isolierung gegen Erde an den Reduktionsleitern *R2* ··· *R9* trägt ebenfalls zur Verkleinerung des Reduktionsfaktors am betrachteten beeinflußten Leiter bei.
— Eine Verschlechterung der Isolierung gegen Erde am betrachteten beeinflußten Leiter selbst hat eine Vergrößerung des eigenen Reduktionsfaktors zur Folge.

Die Betrachtung des Reduktionsfaktors bei Variierung der genannten Eigenschaften macht deutlich, daß eine größere Anzahl von Reduktionsleitern in starkem Maße zur Senkung der Spannung Rohrleitung — Erde im Fall einer induktiven Beeinflussung beiträgt. Es wird jedoch auch sichtbar, daß die Reduktionswirkung von bestimmten Eigenschaften der an der Beeinflussungssituation beteiligten Leitern abhängig ist. Das ist vor allem bei der Beurteilung von realen Beeinflussungsanordnungen von Bedeutung, wenn es darum geht, den Nachweis der Einhaltung der Schutzgüteforderungen am beeinflußten Objekt zu führen. Bezüglich des Falles b) aus Abschnitt 2.1. sind die Ergebnisse aus Übersichtlichkeitsgründen in den Bildern 3 bis 5 dargestellt. Es läßt sich daraus folgendes erkennen:

— Der kleinste Reduktionsfaktor (beste Reduktionswirkung) wird nicht an dem am weitesten außen liegenden Leiter *R1*, sondern etwa in der Mitte der Gruppe der Reduktionsleiter erreicht.
— Mit steigendem Wert des Ableitbelages der Isolierung der beteiligten Leiter nimmt die Differenzierung der Reduktionsfaktoren in Abhängigkeit von der Lage des betrachteten Leiters zu.
— Bei großen Werten des Ableitbelages der Isolierung der Leiter ist der Reduktionsfaktor des Leiters mit dem geringsten Abstand zum beeinflussenden Leiter von der Anzahl der Reduktionsleiter nahezu unabhängig.

Bedeutungsvoll sind diese Erkenntnisse vor allem für den praktischen Fall einer Neuverlegung einer Leitung in einem Beeinflussungsgebiet, in dem bereits mehrere Leitungen existieren. Die Lage kann bezüglich der größtmöglichen Reduktionswirkung optimiert werden.

### 3. Schlußbemerkungen

Ausgehend von der Tatsache, daß es je nach der Zielstellung einer Untersuchung zweckmäßig ist, mit inhaltlich unterschiedlich vereinbarten Reduktionsfaktoren zu arbeiten, wurde es für die Beurteilung von Gefährdungen an Rohrleitungen für sinnvoll erkannt, mit dem Spannungsreduktionsfaktor zu arbeiten. An Hand von Berechnungsergebnissen konnten insbesondere die Einflüsse der Anzahl der Reduktionsleiter sowie der Güte des Erdkontaktes derselben auf diesen Spannungsreduktionsfaktor aufgezeigt werden. Schließlich konnten auf dieser Grundlage gewisse Orientierungen für die Beurteilung bzw. Gestaltung praktischer Beeinflussungsanordnungen gegeben werden.

#### Literatur

[1] *Kindler, H.; Kühne, S.:* Rechnergestützte Analyse von Rohrleitungsbeeinflussungen. Wissenschaftliche Berichte der IHZ, Nr. 710 (1987) S. 22–26

EA 5874

# Energiesparende Tages- und Kunstlichtverwendung in Innenräumen in Abhängigkeit vom Raumklima

**V. Nickel, KDT; A. Weißflog; Berlin**

### 1. Aufgabe

Nachfolgend werden die Ergebnisse von Untersuchungen der technischen Realisierbarkeit von Beleuchtungsprojekten unter Nutzung von Tageslicht in aktiven und passiven Systemen und des Lichts gesteuerter elektrischer Quellen im Hinblick auf die dafür notwendige elektronische Steuerungstechnik beschrieben.

Nach [1] ist die Beleuchtungstechnik Bestandteil eines weitaus komplexeren, unter dem Begriff „intelligentes Gebäude" zusammenfaßbaren Systems zu verstehen und umfaßt folgende Gebiete:

— Energiemanagement
— Nachrichtentechnik intern/extern
— Klimatisierung
— Beleuchtung
— Werbung
— Sicherheit, Überwachung, Signalisierung.

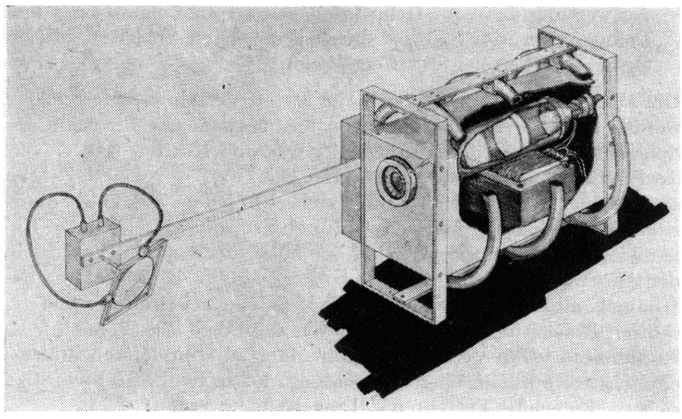
Alle obengenannten Aspekte haben bei ihrer Umsetzung in eine technische Anlage und ihre Integration in ein Gebäude eine Reihe wesentlicher Gemeinsamkeiten:

— Es gibt zwischen ihnen vielfältige logische Abhängigkeiten und Verknüpfungen (Zeit- und Belegungsraster, äußere Umwelt).
— Alle Systeme nutzen sowohl dezentral über das gesamte Gebäude verteilte Sensoren zur Prozeßsteuerung und -überwachung als auch Stellmittel, über die in den Prozeß eingegriffen werden kann.
— Es ist notwendig, diese Baugruppen innerhalb des Gebäudes mit der jeweiligen prozeßsteuernden Anlage zum bidirektionalen Datentransfer zu verbinden (Verkabelung).
— Die technischen Ausrüstungen sind hinsichtlich ihrer elektrischen und konstruktiven Ausführung weitgehend ähnlich: beispielsweise kann kein wesentlicher Unterschied zwischen einem Leistungsschalter für einen Lüftermotor zur Klimatisierung und einem Schalter zur Lichtsteuerung bestehen.

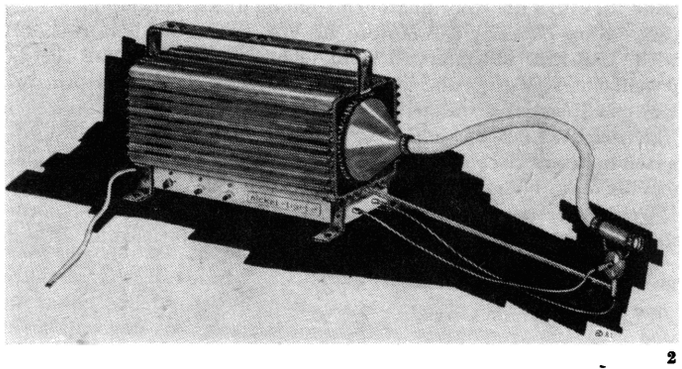
Bei der Integration derartiger Systeme in ein Gebäude sind für den Nutzer unter anderem von besonderem Interesse:

— Kosten für die Anschaffung der Anlage und deren Installation
— Flexibilität im Hinblick auf mögliche Systemerweiterung bzw. Änderung der Systemfunktion

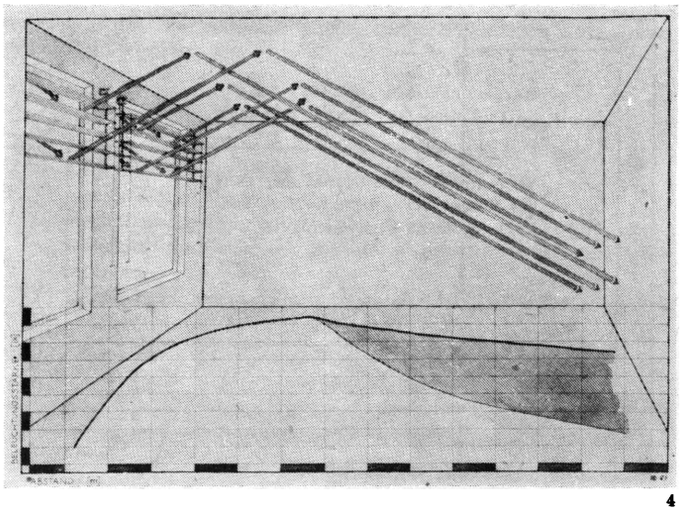
*Volkmar Nickel, Andreas Weißflog,* Firma Nickel-Leuchten, Beratung, Entwurf, Ausführung, Jablonskistr. 35, Berlin, 1055



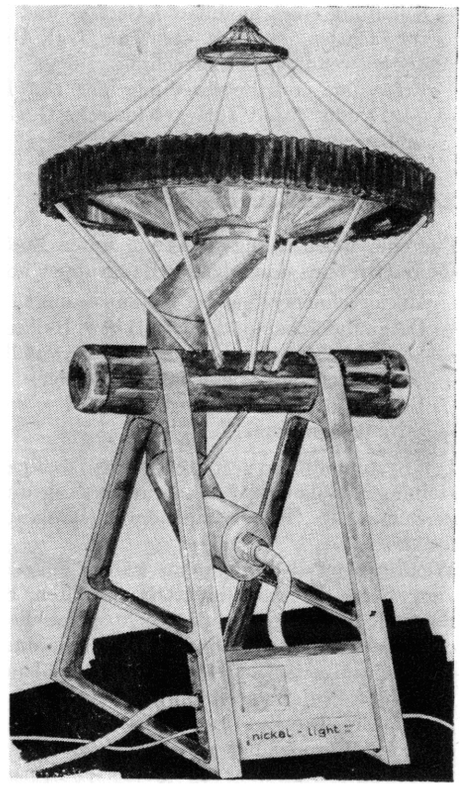
1



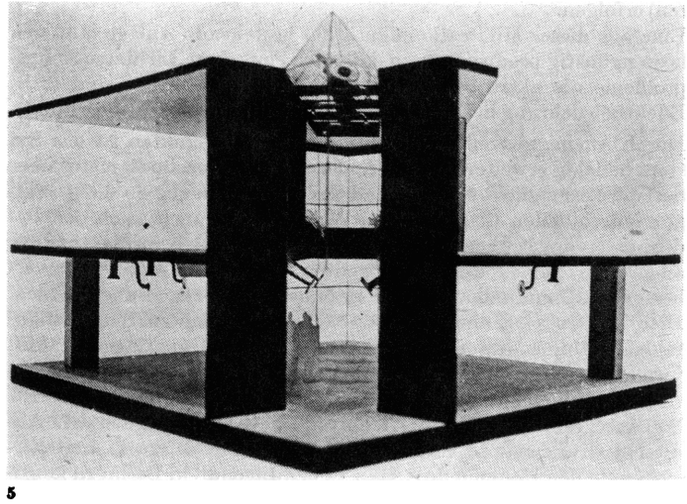
2



4




3



5

**Bild 1.** Projekt Deutsche Post, Berlin; Zentrale Kunstlichtlenkung über Spiegel; hierfür wurde die Beleuchtungssteuerung (Hard- und Software) entwickelt

**Bild 2.** Zentralbeleuchtung — Tages- und Kunstlicht; Lichtlenkung über SILEITS (Sensorgestütztes intelligentes Licht-Energie-Informations-Transport-System); Projektvorschlag „Haus der Jugend", Berlin, Detail: Lichtlenkung über Glasfaser

**Bild 3.** Heliostat für die Lenkung des direkten Sonnenlichts

**Bild 4.** Passive Tageslichtlenkung (diffuse Strahlung)

**Bild 5.** Zentralbeleuchtung — Tages- und Kunstlicht; Lichtlenkung über Spiegel und Linsen

— Zuverlässigkeit und Ausfallverhalten
— problemlose Kommunikation Mensch — Maschine.

In bezug auf die Steuerungstechnik ergeben sich unter Einbeziehung obiger Problematik für die Realisierung des „intelligenten Hauses" folgende Gesichtspunkte:

Um die Installation zu vereinfachen, liegt es nahe, Daten- und Steuerkanäle aller Systeme in einem gemeinsamen Bussystem, das die Peripherie mit den prozeßsteuernden Einrichtungen verbindet, zusammenzufassen.
Es sollen digitale Datenübergabepunkte definiert werden, die in geeigneter Weise, von der Struktur des Gebäudes ausgehend, in ihm verteilt sind (Etage, Gruppe von Räumen). Diese Datenübergabepunkte sind die Schnittstelle zwischen herkömmlich verkabelter Peripherie (Sensoren, Schaltmittel) und Prozeßsteuerung. Es soll gleichgültig sein, ob an ihnen beispielsweise Sensoren für Lichtsteuerung oder Klimatisierung angeschlossen sind. Es wäre denkbar, den Gesamtprozeß von einem Zentralrechner mit komfortabler Kommunikationsmöglichkeit Mensch- Maschine steuern zu lassen. Ein Rechnerausfall hätte dann einen vollkommenen Zusammenbruch der Gesamtfunktion des Hauses zur Folge. Weiterhin wäre es unmöglich, dieses System in kleiner Ausbaustufe (Beschränkung auf Beleuchtungssteuerung) kostengünstig anzubieten. Der Aufwand für nichtgenutzte, redundante Hard- und Software würde den möglichen Nutzen der Anlage übersteigen und ihren Einsatz aus Effektivitätsgründen verbieten.
In Anbetracht der geringen Hardwarekosten von Mikroprozessorsystemen (Minimalkonfiguration) liegt es nahe, das Gesamtsystem durch autonome Mikrorechner zu steuern, die je nach Bedarf von einem Zentralrechner koordiniert werden. Bei Energieausfall sorgen den Mikrorechnern zugeordnete Pufferbatterien für das weitere Funktionieren der Anlage.
Die Einordnung der Beleuchtungstechnik in das komplexe System „intelligentes Gebäude" bedeutet folgende Arbeitsrichtungen:

— Festlegung auf ein flexibles Bussystem zum Datentransfer zwischen Peripherie und Steuer- bzw. Zentralrechner.
Es sollte möglichst auf ein schon verbreitetes, standardisiertes System zurückgegriffen werden (z. B. Fernschreibinterface). Es ist zu prüfen, ob bereits andere Institutionen an einer ähnlichen Problematik arbeiten, um sich gegebenenfalls abzustimmen.

— Schaffung eines modularen Geräte- und Baugruppenspektrums zur Lichtlenkung bzw. -steuerung (vgl. Abschn. 2.) einschließlich der notwendigen Sensortechnik.
— Erfassung und Beschreibung der zur Beleuchtungssteuerung (aktiv oder passiv solar, elektrische Quellen) notwendigen Prozeßparameter.

## 2. Geräte- und Baugruppenspektrum

Für eine Beleuchtungssteuerung unter Einbeziehung eines aktiv-solaren Systems sind folgende Baugruppen notwendig:
— Mikrorechnersystem mit Busanpassung
— Datenübergabepunkt (digital) bzw. Heliostatelektronik
— Leuchtdichtesensor mit Meßgrößenwandler, Analogmultiplexer
— Stellmittel (Leistungsschalter, Dimmer)
— Bedien- und Überwachungsterminal
— Stromversorgung.

Das System muß so gestaltet werden, daß jede technische Problemstellung unabhängig von ihrem Umfang durch einfache Aneinanderreihung der Grundkomponenten (Baukastenprinzip) ökonomisch lösbar ist.
Wichtigster Teil des Systems ist der Mikrorechner mit Busanpassung. Seine Software (im ROM enthalten, Betriebssystem) ermöglicht die Bewältigung aller lichttechnischen Steuerungsprobleme eines festgelegten Umfangs. Die individuellen Prozeßparameter (Beleuchtungsstärken, Zeitraster, Kanalzuordnung usw. werden durch den Projektanten bzw. den Nutzer zugewiesen und im RAM gespeichert. Die Ein- und Ausgabe kann im einfachsten Fall über ein vom Mikrorechner gesteuertes Kleinstterminal, bestehend aus vierstelliger Digitalanzeige (kodierter Prozeßparameter/Wert) und Tastatur (Funktionaltasten, Anzeige dekrementieren/inkrementieren) erfolgen.
Eine aus dieser Minimalkonfiguration bestehende Anlage läßt sich kostengünstig produzieren, so daß auch einfachere Lichtsteuerungsprobleme als aktiv solare Systeme effektiv steuerbar sind (z. B. Effektbeleuchtung in Diskotheken, Ausstellungsbeleuchtung, Bild 1).
Durch Aneinanderreihung von Datenübergabepunkten ist das System beliebig erweiterbar; die Änderung der Prozeßparameter über Software ermöglicht schnelle und flexible Anpassung an die jeweiligen individuellen Erfordernisse. Wahlweise kann, je nach den Bedürfnissen des Nutzers, ein externer Rechner zur Koordination mit anderen Systemen des „intelligenten Hauses" oder/und zur verbesserten Kommunikation und Datenerfassung zugeordnet werden. Die Konstruktion eines derartigen flexiblen, modularen, ausbaufähigen Minimalsystems erfordert einen hohen analytischen Aufwand, um die Applikationsproblematik auf ein geeignet hohes Abstraktionsniveau so zu reduzieren, daß eine flexible, universelle Softwaregestaltung des Betriebssystems (ROM) möglich ist. Aus diesem Grund wurde vorgeschlagen, das aktiv-solare Lichtsteuersystem in den Räumen des „Hauses der Jugend" in Berlin zu konzipieren (Bild 2).

## 3. Komplexe Beleuchtungssteuerung

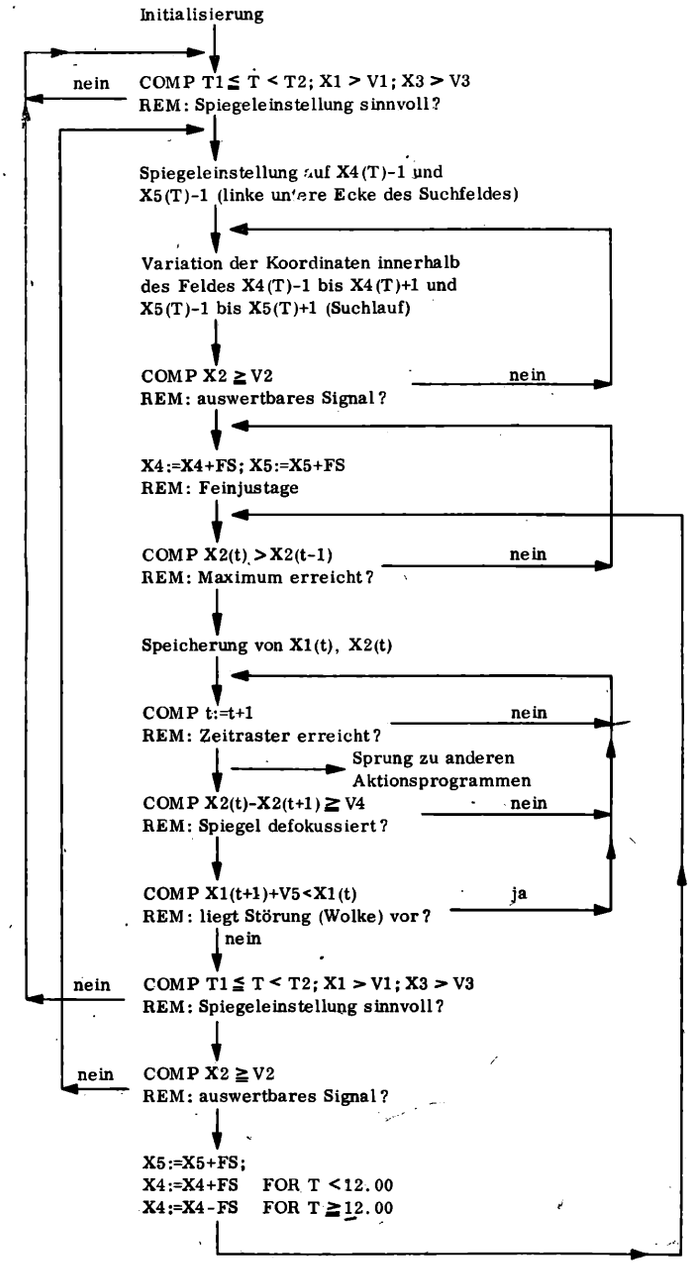
Unter dem Begriff komplexe Beleuchtungssteuerung (Bild 6) sollen folgende Hauptfunktionen zusammengefaßt werden:
— Sonnenstands-Azimut-Tracking des Heliostaten (Bild 3)
— Zeitgebersystem entsprechend Nutzeranforderungen (Grobbelegungsraster der Räumlichkeiten)
— Beleuchtungssteuerung elektrischer Lichtquellen (Dimmung) unter Berücksichtigung des vorhandenen Tageslichtanteils (Bild 4)
— Funktionsüberwachung von Einzelkomponenten (Wartungsfaktor, Ausfälle elektrischer Lichtquellen, Verschmutzung des aktivsolaren Systems)
— begrenzte Individualsteuerung durch den Nutzer der Räumlichkeiten (z. B. lokale Blockierung des Zeitschaltersystems)
— Nutzung bzw. Speicherung der vom aktiv-solaren System gewonnenen nicht benötigten Energie vornehmlich in den „Stillstandszeiten" des Gebäudes.

## 4. Heliostatensteuerung

Zum Sonnenstands-Azimut-Tracking des Spiegels sind zwei wesentliche Verfahren denkbar:
— Nachführung des Spiegels auf die sich aus Uhrzeit und Datum ergebenden H/V-Koordinaten (Erwartungswerte)
— Auswertung des vom Heliostaten gelieferten Lichtstromes und Fokussierung des Spiegels durch gesteuerten Suchlauf, bis ein Optimalwert erreicht ist (Regelkreis).

Um ausreichende Genauigkeit beim ersten Verfahren zu erreichen, werden höchste Anforderungen an die mechanische Präzision der Spiegelnachführeinrichtung gestellt, was aus Kosten- und Zuverlässigkeitsgründen dieses Verfahren aus weiteren Überlegungen ausschließt. Das zweite Verfahren sichert in jedem Fall eine Fokussierung des Spiegels auf den Optimalwert mit hinreichender Genauigkeit. Nachteilig wirkt sich der hohe mechanische Verschleiß der Antriebsvorrichtung aus, da jede Störung (z. B. Bedeckung des Himmels mit Wolken) einen Suchlauf möglicherweise über den gesamten Bereich der H/V-Koordinaten zur Folge hat (Pendeln). Es ist sinnvoll, beide Verfahren miteinander zu kombinieren, um bei einfachster mechanischer Ausrüstung kürzeste Einstellwege zu sichern. Folgendes Verfahren soll angewendet werden:
Der Spiegelantrieb wird durch einfache Getriebemotore realisiert (Bild 3), wobei die Koordinateneinstellung durch Zeitimpulstastung (Start-Stop-Betrieb) der Motore in Vor- und Rücklauf realisiert wird. Das Einschaltintervall dient nicht als relatives Maß für die jeweiligen H/V-Koordinaten des Spiegels (Schrittmotorprinzip). Um den Regelkreis weitgehend unabhängig von den mechanischen Eigenschaften des Antriebssystems zu machen, werten zwei Koordinatenumsetzer (Abschn. 5.1.) den Stand des Spiegels aus und melden ihn digital über den Datenbus der Steuereinrichtung.
Durch diese Anordnung ist es möglich, den Spiegel auf Grobkoordinaten einzurichten. Verknüpft die Steuerungseinrichtung Datum

**Bild 6a.** Heliostatennachführung



und Uhrzeit mit den in tabellarischer Form vorliegenden Erwartungswerten des Sonnenstandes, ist sofort eine Grobeinstellung des Spiegels möglich (Initialisierung).
Die Feinjustage innerhalb des begrenzten möglichen Bereichs benachbarter Grobkoordinaten übernimmt ein Regelkreis gemäß Abschnitt 4. Da angenommen werden muß, daß die auswertbare Bandbreite des optischen Systems kleiner als die Breite des Grobkoordinatennetzes ist und sich damit nicht definierte Bereiche des Regelkreises (Blackouts) ergeben, wird der Regelvorgang so gestaltet, daß bei Neueinstellung ein zickzackförmiger Suchlauf innerhalb der Grobkoordinaten erfolgt, bis der Leuchtdichtedetektor auswertbare Signale erhält.
Folgende Maßnahmen und Überlegungen sollen dazu dienen, den Regelkreis dahingehend zu optimieren, daß unabhängig von äußeren Störungen möglichst nur notwendige Spiegelbewegungen ausgeführt werden.
Es wird ein weiterer Sensor angeordnet, der so konstruiert ist (Abschn. 5.3.), daß ein Fotoempfänger die Lichtdichte des Himmelabschnitts mißt, in dem sich die Sonne befinden kann, und ein weiterer Fotoempfänger die der Sonne abgewandte Seite des Himmels auswertet. Mit dieser Anordnung lassen sich auch bei defokussiertem Spiegel sofort Aussagen darüber treffen, ob die Beleuchtungsstärke insgesamt ausreichend ist und ob ein auswertbares Maximum vorliegt (Sonne — Schatten, diffuser Himmel).
Bei einmal fokussiertem Spiegel hängt es lediglich von der Zeit und der Bandbreite des optischen Systems ab, wann frühestens der Spiegel nachjustiert werden muß. Deswegen ist es sinnvoll, den Bewertungsprozeß „Spiegel korrigieren?" zeitlich gerastert durchzuführen. Die Nachführrichtung ist durch den natürlichen Lauf der Sonne ohnehin gegeben. Es ist notwendig, dem Steuersystem eine Reihe von Grenzwerten und Toleranzfeldern vorzugeben, bei deren Über- bzw. Unterschreitung Aktionen ausgelöst werden (z. B. Nachführen des Spiegels).
Der Ablauf des Trackings soll an folgendem Programm-Ablaufplan verdeutlicht werden.

Variable

| | |
|---|---|
| $t$ | Zeit (Laufvariable) |
| $T$ | Datum, Uhrzeit |
| $X1$ | Leuchtdichte des Himmels (Gesamtwert) |
| $X2$ | Leuchtdichte des Nutzstrahls |
| $X3$ | Verhältnis zwischen der Lichtdichte des der Sonne zugewandten und des der Sonne abgewandten Himmelsabschnitts |
| $X4(T)$ | Grobkoordinate vertikal } zeitabhängig, für Zuordnung |
| $X5(T)$ | Grobkoordinate horizontal } sorgt Korrelanztabelle |

Vorgabewerte

| | |
|---|---|
| $T1$ | Zeitpunkte, an denen das System aktiv sein soll (Belegungspläne, Datum, Sonnenstand) |
| $T2$ | Zeitpunkte, an denen das System passiv sein soll |
| $V1$, $V2$, $V3$ | Grenzwerte für $X1$, $X2$, $X3$ bei deren Überschreitung Lichtlenkung durch Heliostaten sinnvoll ist |
| $V4$ | Toleranzfeld für Änderungen $X2$ durch Defokussierung |
| $V5$ | Toleranzfeld für Änderungen $X1$ während eines Zeitschritts |
| FS | Feinschritt, d. h. kleinste ausführbare Spiegelbewegung |

Mit Rücksicht auf die Steuerungstechnik werden an die mechanische Ausführung des Spiegelantriebs (Getriebeabstufung) folgende Forderungen gestellt:

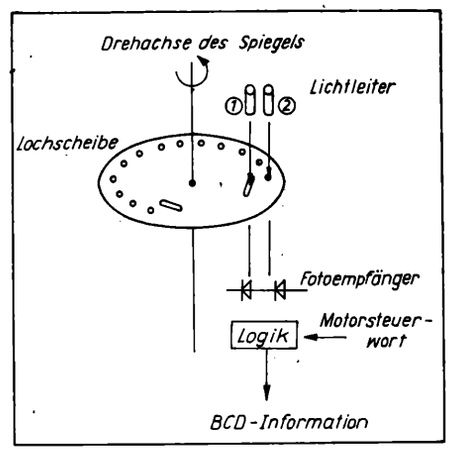
Die Masseträgheit der mechanischen Anordnung (An- und Auslaufverhalten des Motors) setzt eine untere Grenze für die kleinste ausführbare Spiegelbewegung (Feinschritt). Der Feinschritt muß so bemessen sein, daß er mindestens kleiner als die zulässige Regelabweichung (Defokussierung) des Spiegels ist, die direkt von der Bandbreite des optischen Systems abhängt.

## 5. Sensortechnik

### 5.1. Koordinatenumsetzer

Die Koordinatenumsetzer wandeln die jeweilige Stellung des Spiegels in auswertbare Digitalsignale um. Ein Realisierungsvorschlag ist im Bild 6 gezeigt.
Mit der Drehachse des Spiegels ist eine Lochscheibe fest verbunden, auf deren Umfang ($0 \cdots \pi$, Vertikalkoordinaten, $0 \cdots 2\pi$ Horizontalkoordinaten) jeweils $16 + 2$ Löcher verteilt sind. Die Lochscheibe schattet je nach Drehwinkel zwei Lichtstrahlen (z. B. aus Lichtleiter) ab.

**Bild 6**
Koordinatenumsetzer



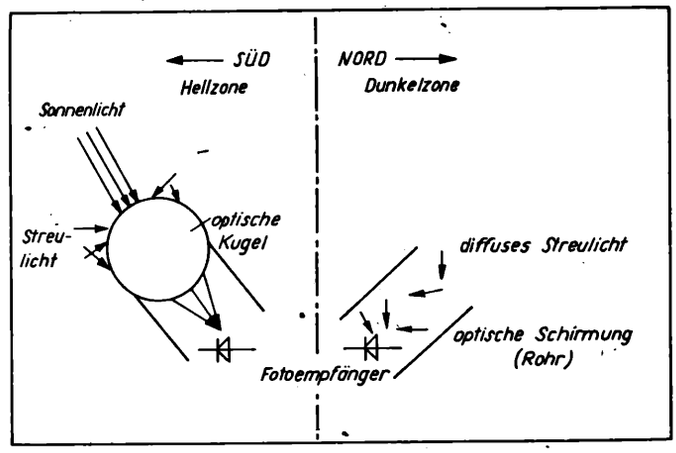




**Bild 7.** Leuchtstärke-Gradientensensor, Realisierungsvorschlag

Empfangene Lichtenergie aus Leiter *1* bedeutet Erreichen der Endwerte (Endanschlag), die Anzahl der aus Leiter *2* empfangenen Lichtimpulse repräsentiert den zurückgelegten Drehwinkel in bezug auf den zuletzt erreichten Endwert. Aus den Motorsteuerimpulsen läßt sich die Drehrichtung ableiten, die Logik (Bestandteil der Heliostatelektronik) setzt in ein direkt durch die Steuereinrichtung auswertbares Format um.

### 5.2. Leuchtdichtesensoren

Grundsätzlich wäre es möglich, einen stark bündelnden Leuchtdichtesensor mit dem Spiegel mechanisch so zu koppeln, daß bei gemessener maximaler Leuchtdichte der Spiegel optimal fokussiert ist. Liegen bei dieser Anordnung die Hauptachsen beider Komponenten nicht genau parallel und/oder ist die Bündelung durch den Sensor kleiner als die durch den Spiegel, treten systematische, nicht korrigierbare Regelabweichungen auf.
Besser ist es deshalb, unmittelbar die Leuchtstärke des fokussierten Nutzstrahls zu messen. Dabei muß in Kauf genommen werden, daß bei starker Defokussierung keine auswertbaren Signale mehr vorliegen; der Spiegel bleibt „dunkel" (Blackout). Durch Gestaltung des Regelkreises nach Abschn. 4. läßt sich dieser Effekt umgehen.

### 5.3. Lichtstärkegradientensensor

Zur Entscheidungsfindung des Regelkreises, ob er im Sinne „Suchen eines auswertbaren Maximums" tätig werden soll, müssen zwei Kriterien zugrunde gelegt werden:

1. Die durch das Tageslicht hervorgerufene Beleuchtungsstärke ist ausreichend, um sinnvoll ein aktives solaroptisches System speisen zu können.
2. Ein Punkt des Himmels ist wesentlich heller (direktes Sonnenlicht), als das übrige diffuse Streulicht.

Da es für eine Maschine schwierig ist, das Vorhandensein eines helleren Punktes aus einer Gesamtheit von gleichen Punkten herauszusuchen, soll folgende Tatsache genutzt werden: Die gedachte Himmelshalbkugel läßt sich in zwei Zonen teilen. In einer Viertelkugel kann niemals die Sonne stehen (Dunkelzone), die andere Viertelkugel (Hellzone) birgt einen möglichen Standpunkt der Sonne. Wertet man die Lichtstärke des über die Raumwinkel der

Hell- und Dunkelzone einfallenden Lichts getrennt aus, muß, da Gleichverteilung des diffusen Streulichts vorausgesetzt werden kann, eine Differenz beider Meßwerte zwangsläufig einen helleren Punkt (Sonne) am Himmel zur Ursache haben. (Entscheidungskriterien des Regelkreises für Spiegelbewegung).
Eine optische Kugel mit der Eigenschaft, alle parallel einfallenden Lichtstrahlen auf einen Punkt zu konzentrieren, ist in der Hellzone so angeordnet, daß ihr Brennpunkt mit einem Fotoempfänger zusammenfällt. Ein weiterer Fotoempfänger mißt einen Teil des die Dunkelzone treffenden diffusen Streulichts (Gleichverteilung vorausgesetzt, optische Schirmung durch Rohr verhindert Überstrahlung aus Hellzone, Bild 7).

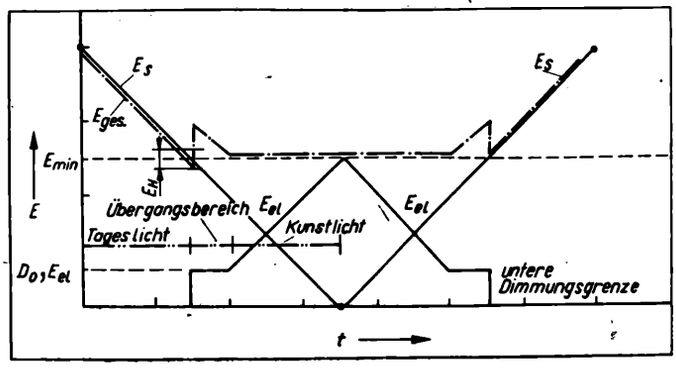
## 6. Steuerung elektrischer Lichtquellen

Die vom aktiven solaroptischen System gelieferte Lichtenergie ist ein Maß dafür, ob es notwendig ist, den Raum zusätzlich mit elektrischen Lichtquellen zu beleuchten, wenn ein vorgegebener Grenzwert unterschritten wird. Leider genügt es nicht, linear entsprechend dem ermittelten Beleuchtungsenergiedefizit, äquivalente elektrische Energie zuzuführen (Dimmung), da sich gedimmte elektrische Lampen nichtlinear verhalten [2].

1. Elektrische Lampen sind nur bis zu einer bestimmten Grenze dimmbar; wird sie unterschritten, treten unzulässige Spektralveränderungen auf oder die Lampen verlöschen.
2. Die Lichtausbeute elektrischer Lampen sinkt über ihre Nutzungsdauer (Wartungsfaktor).
3. Da einfallendes Seitenlicht (Fenster) zur Beleuchtungsbilanz des Raumes beiträgt, ergeben sich abhängig vom Sonnenstand lokale Differenzen der Beleuchtungsstärke unabhängig von der Arbeit des Heliostats.

Um diese Problematik zu lösen, ist es notwendig, den Raum in Zonen einzuteilen, die von Sensoren hinsichtlich ihrer Beleuchtungsstärke $E_{ges}$ überwacht werden. Die Summe des einfallenden Tageslichts soll einen Anteil $E_s$ liefern. Wird ein festgelegtes unteres Beleuchtungsstärkenniveau $E_{min}$ in einer Zone unterschritten, müssen sprunghaft die dieser Zone zugeordneten elektrischen Lichtquellen in ihrer unteren Dimmungsgrenze zugeschaltet werden; sie liefern einen Beleuchtungsstärkeanteil $DE_{el}$ ($D$ Dimmungsfaktor $D_0 \leqq D \leqq 1$, mit $D_0 = 0{,}3 \cdots 0{,}6$ untere Dimmungsgrenze). Aus Bild 8 folgt, daß bei Absinken der Beleuchtungsstärke $E_s$ herrührend vom Tageslicht, unter den Wert $E_{min}$ im Bereich $E_{min} - D_0 E_{el} \leqq E_s \leqq E_{min}$ aufgrund der unteren Dimmungsgrenze $D_0$ sich ein Überangebot der resultierenden Beleuchtungsstärke $E_{ges}$ ergibt.
Diese Tatsache führt bei schlecht dimmungsfähigen Lampen zu einer ungünstigen Energiebilanz im Übergangsbereich der Regelschaltung zwischen Tageslicht und Kunstlicht. Eine Verbesserung könnte dadurch erreicht werden, daß im Übergangsbereich nicht alle, sondern nur ein Teil der Lampen (über die Auswertungszone gleichmäßig verteilt) angesteuert werden, wenn vorausgesetzt werden kann, daß die lokale Verteilung der elektrischen Lichtquellen so erfolgt ist, daß in diesem Betriebsfall an keinem Punkt der Zone das Beleuchtungsstärkeniveau $E_{min}$ unterschritten wird. Daraus kann andererseits gefolgert werden, daß die Energiebilanz der Gesamtanlage im Übergangsbereich verbessert wird, wenn die elektrische Beleuchtung innerhalb einer Zone durch eine Anzahl räumlich voneinander getrennter Lichtquellen erfolgt. Um ein definiertes Schaltverhalten des Regelkreises zu sichern, muß eine

**Bild 8.** Leuchtstärkeverlauf bei gedimmten Lampen unter Berücksichtigung des Tageslichtanteils



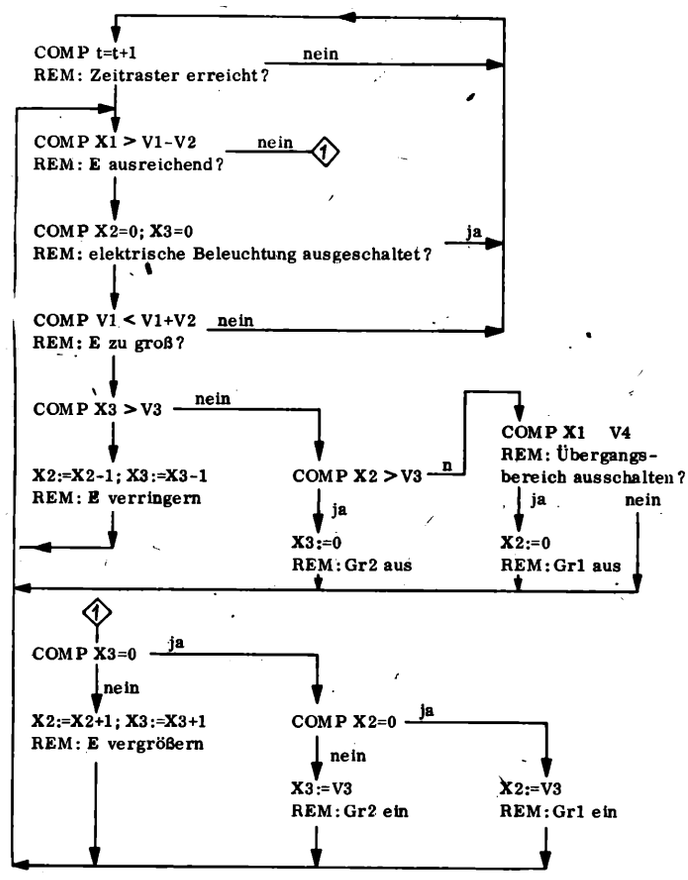




**Bild 9.** Beleuchtungssteuerung eines Raumes

Hysterese $E_H$ eingeführt werden (Bilder 8 und 9). Kriterium für das Ein- bzw. Ausschalten der elektrischen Beleuchtung sind die Punkte $E = E_{min} - E_H/2$ bzw. $E = E_{min} + E_H/2$.
Trennt man gedanklich den Regelkreis auf bzw. eliminiert man den Tageslichtanteil $E_s$, so ist der Gradient $\frac{dE_{el}}{dD}$ ein direktes Maß für die Lichtausbeute der elektrischen Beleuchtung. Bei der Projektierung muß die elektrische Beleuchtung so ausgelegt werden, daß ohne Tageslichtanteil ($E_s = 0$) und bei Vollansteuerung ($D = 1$) $E_{el} > E_{min}$ ist, um ein Absinken der Lichtausbeute über die Nutzungsdauer der Lampen korrigieren zu können (Wartungsfaktor).
Um Aussagen über den notwendigen Austausch der Lampen machen zu können, ist eine Serviceroutine denkbar, die in den Nachtstunden ($E_s = 0$) kurzzeitig die Lampen mit voller Helligkeit ansteuert und die daraus resultierende Beleuchtungsstärke mißt. Unterschreitet sie einen vorgegebenen Grenzwert bzw. wird $E_{el} < E_{min}$, erfolgt eine Störungsmeldung.
Der Ablauf der Beleuchtungssteuerung soll anhand eines Programm-Ablaufplanes verdeutlicht werden. Hierbei bedeuten:

Variable

| | |
|---|---|
| *X1* | Beleuchtungsstärke in der Auswertungszone |
| *X2* | Dimmungsfaktor $D$ für Gruppe *1* (Übergangsbereich) |
| *X3* | Dimmungsfaktor $D$ für Lampengruppe *2* (Kunstlichtbereich) |
| *t* | Zeit (Laufvariable) |

Vorgabewerte

| | |
|---|---|
| *V1* | unteres Beleuchtungsstärkeniveau $E_{min}$ |
| *V2* | Schalthysterese $E_H/2$ |
| *V3* | unterer möglicher Dimmungsfaktor $D_0$ |
| *V4* | Beleuchtungsstärke $E_{min} + D_0 E_{el}$ |

### Literatur


[1] *Panagopolus, P.*: Sonnenenergieanlagen. Diss. TU München 1985
[2] *Zatudor, R.*: Heliostate. Gelioteknika (1986) 3, S.
[3] Heliostat-Lichtlenkung. US-Patent 4 425 905; 17. 1. 1984
[4] DD; WP 303 173/1; Int. Cl.: G 02 B. Roboter-Beleuchtung. *V. Nickel*, 27. 5. 1987 EA 5782

## Documentation

*Pundt, H.*

**Development of the Three-Phase Transmission with Specific Consideration of the Problems of Influencing**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, pp. 5 – 9, 5 Figs., 40 Refs.

Starting from the principal possibilities of influencing communication facilities by power plants the influencing is calculated with regard to its historical development. Thereby, especially, the 110 kV networks, the 380/220 kV network, the influencing earth short-circuit currents, as well as the specific problems of rated voltages above 750 kV are studied.

---

*Pilatowicz, A.*

**EMV-Problems in Poland – Effect of Power Supply Plants**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, pp. 9 – 10, 1 Fig., 1 Equation, 7 Refs.

Results of investigations concerning influencing effect of electromagnetic fields of high-voltage plants on the environment are represented. Thereby the author distinguishes between radio and television disturbances (0,1 to 300 MHz), disturbances of communication facilities (50 to 5000 Hz), and other effects of the electric field (50 Hz). The results are offering the present state of know-ledges of this area in the People's Republic of Poland.

---

*Schmidt, P.*

**Influencing by Electric Railways**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, pp. 11 – 14, 9 Figs., 8 Refs.

Through the power transmission from the substations via the contact line to the tractive units undesired effects on other electric plants are possible. The states of affairs with single-phase a. c. railways are represented, which make possible evaluating the expected inductive, capacitive or galvanic influencings.

---

*Koch, H.*

**To the Current Dependence of Influencing Measurements**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, pp. 14 – 16, 25, 2 Figs., 6 Refs.

Impedance and reduction effects of pipe conduits, railway trackages and others are current-dependent. With considering the ground conductivity and the distances the computation is derived. It is proved, that in railways with linear conversion to other currents faults up to 35 % are occuring. Consequently, measurements should be done really according to the current.

---

*Weigt, W.*

**Noise Disturbances in Communication Facilities through Tramways**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, pp. 25 – 28, 10 Figs., 9 Refs.

In towns with tramways hum noises are effecting increasingly telephone communications. Measuring-technical studies at selected objects were started. In this contribution the weak points of the EMC are described briefly, the measuring programme is illustrated, and the hitherto reached results of the measurements are represented. A view of the tasks is given, which have to be carried on.

---

*Bauer, H.; Langer, G.*

**Electromagnetic Consistency through Error Detection and Error Tolerance Principles**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, pp. 28 – 31, 7 Figs., 2 Equations, 2 Refs.

Increasingly in the inner of electronic circuits barriers adapted to the EMV have to be concepted. Starting from the state model and the operating phases of a circuit a control behaviour in deserting the actual operating state, caused by disturbances, is analyzed and used for avoiding endangering states.

---

*Kühne, St.; Kindler, H.*

**Considerations to the Reduction Factor in Several Reduction Conductors**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, pp. 32 – 34, 5 Figs., 1 Ref.

Depending on the object of an investigation working with reduction factors is useful, settled differently concerning the content. For evaluating dangers at pipe conduits in consequence of power current influences working with the voltage reduction factor was recognized as usefully. By means of computing results, especially, the influences of the number of reduction conductors as well as of the quality of its earth contact on that voltage reduction factor could be pointed out.

---

*Nickel, V.; Weißflog, A.*

**Energy Saving Daylight and Artificial Light Uses within Inner Rooms as a Function of the Room Climate**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, pp. 34 – 38, 9 Figs.

To the Youth's House a central light guidance (daylight and artificial light) was projected. The light guidance is realized by means of a sensor integrated light energy information transport system (SILEITS). The optical components consist of mirror lenses and glass fibre bundles for transporting light and informations.

## Документация

Пундт, Х.

**Развитие передачи трехфазного тока с особым учетом проблем мешающих воздействий**

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 1, стр. 5 – 9, 5 рис., 40 лит.

Исходя из принципиально возможных мешающих воздействий сильноточных установок на установки связи оцениваются проблемы воздействия в их историческом развитии. В частности, при этом рассматриваются сети 110 кВ, сеть 380/220 кВ, ограничение остаточных токов короткого замыкания через землю, а также специальные проблемы при номинальных напряжениях свыше 750 кВ.

---

Пилатович, А.

**Проблемы электромагнитной совместимости в Польши – влияние установок энергоснабжения**

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 1, стр. 9 – 10, 1 рис., 1 уравн., 7 лит.

Представляются результаты исследования воздействия электромагнитных полей высоковольтных установок на окружающую среду. Автор при этом различает радиопомехи и телевизионные помехи (0,1 ... 300 МГц), помехи в установках связи (50 ... 5000 Гц) и остальные воздействия электрического поля (50 Гц). Результаты изображают сегодняшнее состояние познаний в данной области в Народной Республике Польши.

---

Шмидт, П.

**Помехи, вызванные электрическими железными дорогами**

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 1, стр. 11 – 14, 9 рис., 8 лит.

За счет энергопередачи от подстанций через контактный провод к тяговой единице подвижного состава возможны нежелательные воздействия на другие электрические установки. На примере электрической железной дороги на однофазном переменном токе излагаются факторы, позволяющие оценку ожидаемого индуктивного, емкостного или гальванического воздействия.

---

Кох, Х.

**О токозависимости измерений мешающих воздействий**

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 1, стр. 14 – 15 и 25, 2 рис., 6 лит.

Импеданс и понижающее действие трубопроводов, путевых устройств и т. п. являются токозависящими. Выводится расчет с учетом проводимости почвы и расстояний. Доказывается, что для путей в случае линейного пересчета на другие значения тока возникают ошибки до 35 %. По данной причине рекомендуется произвести измерения близко к измеряемой величине.

---

Вайгт, В.

**Шумовые помехи в телефонных установках, вызванные трамваями**

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 1, стр. 25 – 28, 10 рис., 9 лит.

В городах с трамвайным движением все заметнее становятся фоновые шумы на телефонных линиях. Начаты измерительные исследования на выбранных объектах. В статье кратко описываются слабые точки электромагнитной совместимости, поясняется программа измерений и излагаются результаты, полученные до сих пор в процессе данных измерений. Обсуждаются перспективы проводимых в дальнейшем работ.

---

Бауэр, Х.; Лангер, Г.

**Обеспечение электромагнитной совместимости за счет принципов опознавания неисправностей и допусков на неисправности**

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 1, стр. 28 – 31, 7 рис., 2 уравн., 2 лит.

Внутри электронных схем в возрастающей мере приходится предусмотреть пороги для обеспечения электромагнитной совместимости. Исходя из модели состояния и рабочих фаз схемы анализируется регулировочная характеристика при выходе из текущего рабочего состояния, обусловленном неисправностью, которая используется для предотвращения угрожающих состояний.

---

Кюне, Ст.; Киндлер, Х.

**Рассуждения о коэффициенте понижения в случае нескольких дополнительных редукционных проводников**

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 1, стр. 32 – 34, 5 рис., 1 лит.

В зависимости от постановки цели исследования представляется целесообразным работать с коэффициентами понижения, различно определенными по содержанию. Для оценки угроз на трубопроводах вследствие сильноточных влияний признано полезным работать с коэффициентом понижения напряжения. По результатам расчета удалось выявлять, в частности, влияние на этот коэффициент понижения напряжения числа дополнительных редукционных проводников, а также качества контакта заземления их.

---

Никкель, В.

**Экономящее энергию применение дневного и искусственного света во внутренних помещениях в зависимости от атмосферы в помещении**

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 1, стр. 34 – 38, 9 рис.

Для Дома молодежи г. Берлина спроектировано централизованное управление освещением (дневным и искусственным светом). Управление освещением осуществляется при помощи транспортной системы света, энергии и информации с интегрированными сенсорными элементами (SILEITS). Оптические компоненты состоят из зеркальных линз и пучков оптических волокон для транспортировки света и информации.

*Pundt, H.*

**Entwicklung der Drehstromübertragung unter besonderer Berücksichtigung der Probleme der Beeinflussung**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, S. 5–9, 5 Bilder, 40 Lit.

Ausgehend von den grundsätzlichen Möglichkeiten der Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen wird die Beeinflussung in ihrer historischen Entwicklung eingeschätzt. Dabei werden insbesondere die 110-kV-Netze, das 380/220-kV-Netz, die Begrenzung von Erdkurzschlußströmen sowie die speziellen Probleme bei Nennspannung ab 750 kV betrachtet.

---

*Pilatowicz, A.*

**EMV-Probleme durch Energieversorgungsanlagen in der VR Polen**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, S. 9–10, 1 Bild, 1 Gl., 7 Lit.

Es werden Untersuchungsergebnisse zur Beeinflussungswirkung elektromagnetischer Felder von Hochspannungsanlagen auf die Umwelt vorgestellt, Der Verfasser unterscheidet dabei in Rundfunk- und Fernsehstörungen (0,1 bis 3000 MHz), Störungen von Fernmeldeanlagen (50 bis 5000 Hz) und sonstige Wirkungen des elektrischen Feldes (50 Hz). Die Resultate zeigen den gegenwärtigen Erkenntnisstand auf diesem Gebiet in der Volksrepublik Polen.

---

*Schmidt, P.*

**Beeinflussung durch elektrische Bahnen**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, S. 11–14, 9 Bilder, 8 Lit.

Durch die Energieübertragung von den Unterwerken über die Fahrleitung zu den Triebfahrzeugen sind unerwünschte Auswirkungen auf andere elektrische Anlagen möglich. Es werden die Sachverhalte bei Einphasenwechselstrombahnen dargelegt, die ein Bewerten der zu erwartenden induktiven, kapazitiven oder galvanischen Beeinflussung ermöglichen.

---

*Koch, H.*

**Zur Stromabhängigkeit von Beeinflussungsmessungen**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, S. 14 bis 16 und 25, 2 Bilder, 6 Lit.

Impedanz und Reduktionswirkung von Rohrleitungen, Gleisanlagen u.a. sind stromabhängig. Mit Einbeziehung der Bodenleitfähigkeit und der Abstände wird die Berechnung hergeleitet. Nachgewiesen wird, daß bei Gleisen bei linearer Umrechnung auf andere Ströme Fehler bis 35 % auftreten. Messungen sollten demzufolge stromreal erfolgen.

---

*Weigt, W.*

**Geräuschstörungen in Fernsprechanlagen durch Straßenbahnen**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, S. 25–28, 10 Bilder, 9 Lit.

In Städten mit Straßenbahnen machen sich in zunehmenden Maße auf Fernsprechverbindungen Brummgeräusche bemerkbar. Mit meßtechnischen an ausgewählten Objekten wurde begonnen. Im Beitrag werden die Schwachstellen der EMC kurz beschrieben, das Meßprogramm erläutert und die bisher erzielten Ergebnisse aus den Messungen dargestellt. Es wird ein Ausblick auf die weiterzuführenden Aufgaben gegeben.

---

*Bauer, H.; Langer, G.*

**Elektromagnetische Verträglichkeit durch Fehlererkennungs- und Fehlertoleranzprinzipien**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, S. 28–31, 7 Bilder, 2 Gl., 2 Lit.

Zunehmend sind im Inneren von elektronischen Schaltungen Barrieren zur EMV zu konzipieren. Ausgehend vom Zustandsmodell und den Arbeitsphasen einer Schaltung wird ein Regelverhalten beim störungsbedingten Verlassen des aktuellen Betriebszustandes analysiert und zur Vermeidung gefährdender Zustände genutzt.

---

*Kühne, St.; Kindler, H.*

**Betrachtungen zum Reduktionsfaktor bei mehreren Reduktionsleitern**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, S. 32–34, 5 Bilder, 1 Lit.

Je nach Zielstellung einer Untersuchung ist es zweckmäßig, mit inhaltlich unterschiedlich vereinbarten Reduktionsfaktoren zu arbeiten. Für die Beurteilung von Gefährdungen an Rohrleitungen infolge von Starkstrombeeinflussungen, wurde es für sinnvoll erkannt, mit dem Spannungsreduktionsfaktor zu arbeiten. An Hand von Berechnungsergebnissen konnten insbesondere die Einflüsse der Anzahl der Reduktionsleiter sowie der Güte des Erdkontaktes derselben auf diesen Spannungsreduktionsfaktor aufgezeigt werden.

---

*Nickel, V.; Weißflog, A.*

**Energiesparende Tages- und Kunstlichtverwendung in Innenräumen in Abhängigkeit vom Raumklima**

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, S. 34–38, 9 Bilder

Für das Haus der Jugend Berlin wurde eine Zentrale Lichtlenkung (Tages- und Kunstlicht) projektiert. Die Lenkung des Lichtes erfolgt über eine Sensor-integriertes-Licht-Energie-Informations-Transportsystem (SILEITS). Die optischen Komponenten bestehen aus Spiegel-Linsen und Glasfaserbündel für Licht- und Informationstransport.

| | |
|---|---|
| Herausgeber | Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik |
| Verlag | VEB Verlag Technik<br>DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14<br>Telegrammadresse: Technikverlag Berlin<br>Telefon: 2870 0; Telex: 011 2228 techn. dd |
| Verlagsdirektor | Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus* |
| Redaktion | Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 28 70 345)<br>Ing. *Günther Barth*, Redakteur (Telefon 28 70 343) |
| Lizenz-Nr. | 1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik |
| Gesamtherstellung | III/18/328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf<br>7122 Borsdorf |
| Gestalter | *Eckardt Natorp* (Telefon 28 70 287) |
| Anzeigenannahme | Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201<br>Anzeigenpreisliste Nr. 7<br>Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157, Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89 |
| Erfüllungsort und Gerichtsstand | Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig. |
| AN (EDV) | 6730 |
| Erscheinungsweise | monatlich 1 Heft |
| Heftpreis | 2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen. |
| Bezugsmöglichkeiten DDR | sämtliche Postämter |
| SVR Albanien | Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana |
| VR Bulgarien | Direkzia R. E. P., 11 a, Rue Paris, Sofia |
| VR China | China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing |
| ČSSR | PNS – Ústřédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 12000 Praha 2<br>PNS, Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače Praha, Posta 022, 885 47 Bratislava |
| SFR Jugoslawien | Jugoslovenska Knijiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knijižarsko Produzéće MLADOST, Ilica 30, Zagreb |
| Koreanische DVR | CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang |
| Republik Kuba | Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana |
| VR Polen | C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa |
| SR Rumänien | D. E. P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti |
| UdSSR | Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore |
| Ungarische VR | P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest |
| SR Vietnam | XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Ha Noi |
| BRD und Berlin (West) | ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30 |
| Österreich | Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, 2345 Brunn am Gebirge |
| Schweiz | Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich |
| Alle anderen Länder | örtlicher Fachbuchhandel;<br>BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29 |

*Jetzt lieferbar in zweiter, bearbeiteter Auflage*

## Grundlagen der automatischen Steuerung

### Leitfaden und Aufgaben aus der Elektrotechnik

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Schönfeld
204 Seiten, 155 Bilder, 19 Tafeln, Leinen, DDR 15,— M, Ausland 26,— DM.
Bestellangaben: 553 760 2/Schönfeld, Steuerung

Der Autor verfolgt mit dem Buch das Ziel, den in der Praxis tätigen Ingenieur, insbesondere den Elektroingenieur, mit den Grundlagen der Automatisierungstechnik so weit vertraut zu machen, daß sich daraus unmittelbare Hilfe bei der Lösung konkreter Probleme ergibt.
Das Werk ist in neun, in sich abgeschlossene Abschnitte gegliedert, die logisch aufeinander aufbauen. Zu jedem Abschnitt gibt es eine kurzgefaßte Einführung (Leitfaden) und durchgerechnete praxisnahe Beispiele. Ausgewählt wurden die in der Elektrotechnik angewandten Methoden und Verfahren.
Entsprechend der aktuellen Entwicklung zum Einsatz digitaler Regelungen auf der Basis von Mikrorechnern werden Verfahren zur Analyse und Synthese kontinuierlicher und diskontinuierlicher Systeme parallel behandelt. Analogien und Unterschiede werden herausgearbeitet und tragen zum Verständnis der grundsätzlichen Zusammenhänge bei. Es werden sowohl Frequenzmethoden als auch Methoden des Zustandsraumes zur Analyse und Synthese genutzt. 155 instruktive Bilder veranschaulichen die Zusammenhänge. Auf 19 Tafeln sind Rechenregeln, charakteristische Parameter, normierte Kennlinien übersichtlich als Arbeitsmaterial zusammengestellt.
In dieser Auflage wurde die Konzeption beibehalten, Druckfehler wurden beseitigt sowie einige textliche Präzisierungen vorgenommen. Einige Abschnitte wurden überarbeitet bzw. neu gefaßt.

*In sechster, durchgesehener Auflage*

## Einführung in die Elektrotechnik

### Arbeitsbuch

Hochschullehrbuch. Von Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Lunze und Dr.-Ing. Eberhart Wagner
296 Seiten, 318 Bilder, 16 Tafeln, Kunstleder, DDR 20,— M, Ausland 35,— DM.
Bestellangaben: 553 072 6/Lunze/W., Arbeitsbuch

Dieses Arbeitsbuch bringt Aufgaben zu allen Abschnitten des Lehrbuchs: Lunze, Einführung in die Elektrotechnik. Die Aufgaben gliedern sich in Aufgabenstellung, Lösungshinweise, ausführliche Lösung und Diskussion der Lösung. Tabellarische Übersichten sowie die Aufführung der einzelnen Rechenschritte der allgemeinen Verfahren erleichtern dem Studierenden das Aneignen der Fertigkeiten.

Im Fachbuchhandel erhältlich

**VEB VERLAG TECHNIK BERLIN**

6730 1 177 027 465
KOMB KRAM WERKE
8612 7004 0136 PF 1

ISSN 0013—5399
ELEKTRIE · Berlin 42 (1988) 1 · S. 1—40

Auslieferung in diesen Tagen

# VEM-HANDBUCH

## Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung in Niederspannungsanlagen

Von Dipl.-Ing. Rolf Müller. Herausgegeben vom Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin
8., stark bearbeitete Auflage. 364 Seiten, 289 Bilder, 33 Tafeln, Kunstleder, DDR 26,— M, Ausland 35,— DM.
Bestellangaben: 553 726 6/Müller, Schutzmaßnahmen

Das Buch behandelt in ausführlicher und verständlicher Weise die Bedingungen, Ausführungspraktiken und Prüfmethoden der verschiedenartigen Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Durchströmungen in Niederspannungsanlagen. Die 8. Auflage zeichnet sich aus durch gründliche Aktualisierung des Inhalts und durch den Bezug auf die neuesten staatlichen Standards, DIN/VDE-Bestimmungen und IEC-Publikationen. Auf den neuesten Stand gebracht, in ihrer Aussage verbessert und zum Teil wesentlich erweitert wurden vor allem die Abschnitte

1.1. Elektrischer Stromreiz
4. Netzsysteme
6.1. Erfordernis für Schutzmaßnahmen
6.3. Schutzklassen
6.4. Potentialausgleich
6.7.6. Nullung
6.7.8. Fehlerstrom-Schutzschaltung.

Inhaltlich völlig neu sind die Abschnitte

5. Schutz gegen direktes Berühren
7.2. Schutzmaßnahmen für medizinisch genutzte Räume
7.3. Schutzmaßnahmen in Räumen der Tierhaltung.

*Hauptabschnitte des Buches:*

*Der elektrische Strom und seine Wirkung auf den Organismus · Sofortmaßnahmen nach einem Unfall durch elektrischen Strom · Erdungsmaßnahmen · Netzsysteme · Schutz gegen direktes Berühren · Schutz bei indirektem Berühren · Schutzmaßnahmen für spezielle Anwendungsfälle.*

# VEM-HANDBUCH

## Prozeßsteuerungstechnik

Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Dr.-Ing. Kurt Grubba. Herausgegeben vom Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin
2., durchgesehene Auflage. 312 Seiten, 164 Bilder, 72 Tafeln, Kunstleder, DDR 32,— M, Ausland 42,— DM.
Bestellangaben: 553 886 7/VEM-Handb. Prozeßsteuerung

Es werden verbindungsprogrammierte und speicherprogrammierbare binäre Steuerungen zur Automatisierung technologischer Prozesse behandelt. Nach einer knappen Darstellung von Grundlagen der Steuerungstechnik wird die gerätetechnische Basis erläutert (Beispiele aus den Systemen RELOG, TRANSLOG 2, ursalog 4000, 5010, 5020). Ausführungen zur Systemtechnik, zum Aufbau, zur Entwurfsmethodik und technischen Realisierung bis hin zur Inbetriebsetzung von Prozeßsteuerungen bilden den Hauptteil; im Vordergrund steht das neue Automatisierungssystem „VEM-audatec".

*Hauptabschnitte des Buches:*

*Einführung und Übersicht · Grundbegriffe und Darstellungen · Systemgestaltung · Gerätetechnik für Prozeßsteuerungen · Aufbau von Prozeßsteuerungen · Entwurf von Prozeßsteuerungen · Realisierung von Prozeßsteuerungen.*

Im Fachbuchhandel erhältlich

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN